

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ В.П. Захарченко
« ____ » _____ 2021 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИЦІ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

**Тема: «Асинхронний двигун з покращеними пусковими та регулюючими
характеристиками»**

Виконавець _____ студентки групи ЕС-411Б Пікуль Марини Олександрівни
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник _____ к.т.н., доцент Тихонов Віктор Васильович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер:

_____ (підпис)

_____ В.В. Тихонов

_____ (ПІБ)

КИЇВ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аерокосмічний

Кафедра автоматизації та енергоменеджменту

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П.Захарченко

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Пікуль Марини Олександрівни

(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи (проекту) «Асинхронний двигун з покращеними пусковими та регулюючими характеристиками»
затверджена наказом ректора від «05» квітня 2021 р. № 558/ст.

2. Термін виконання роботи (проекту): з 18.05.2021 р. по 21.06.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи (проекту): схеми пуску і регулювання швидкості асинхронного двигуна. Номінальна потужність – 1 кВт; фазна напруга – 220 В, ККД – 0.9, коефіцієнт потужності – 0.82.

4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз способів пуску і регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів. Асинхронний двигун з покращеними пусковими та регулюючими характеристиками. Математична модель запропонованої конструкції асинхронного двигуна.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: Конструктивна схема асинхронного двигуна. Поперечний розріз ротора в місці розташування обмотки. Схема включення обмоток асинхронного двигуна

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін Виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	18.05 – 23.05.21	
2.	Збір інформації, аналіз способів пуску і регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів	18.05 – 30.05.21	
3.	Робота над розділом №1	18.05 – 23.05.21	
4.	Робота над розділом №2	24.05 – 30.05.21	
5.	Робота над розділом №3	31.05 – 13.06.21	
6.	Розробка та оформлення обов'язкового ілюстрованого матеріалу	14.06 – 22.06.21	
7.	Перевірка роботи на доброчесність. Підготовка до захисту	Після передзахисту	

7. Дата видачі завдання: «18» травня 2021 р.

Керівник дипломної роботи (проекту)

(підпис керівника)

Тихонов В.В.
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

(підпис випускника)

Пікуль М.О.
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту «Асинхронний двигун з покращеними пусковими та регулюючими характеристиками»: 39 с., 15 рис., 10 використаних джерел.

Об'єкт дослідження: процес пуску та регулювання швидкості асинхронного двигуна.

Предмет дослідження: трифазний асинхронний двигун.

Мета проекту: покращення пускових характеристик та розширення діапазону регулювання швидкості.

Методи дослідження: математичний опис основних енергетичних показників пропонованої конструкції асинхронного двигуна

Матеріали дипломної роботи можуть бути застосовані на підприємствах, що призведе до покращення їх економічності. Запропонована модель підвищує надійність асинхронних двигунів та період нормальної експлуатації, збільшує роботу енергосистеми, діапазон регулювання швидкості обертання.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПУСКУ І РЕГУЛЮВАНН ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ	9
1.1. Основні вимоги до пуску асинхронного двигуна.....	9
1.2. Прямий пуск	9
1.3. Короткозамкнені асинхронні двигуни з підвищеним пусковим моментом	11
1.3.1. Асинхронний двигун з подвійною білячою клітиною .	11
1.3.2. Асинхронний двигун з глибокими пазами	13
1.4. Пуск асинхронного двигуна при зниженій напрузі	14
1.4.1. Реакторний пуск	15
1.4.2. Автотрансформаторний пуск	16
1.4.3. Пуск двигуна перемиканням «зірка – трикутник»	16
1.5. Пуск асинхронного двигуна з фазним ротором	17
1.6. Асинхронний двигун з підвищеним пусковим моментом та спроможністю регулювання обертів при зміні навантаження	21
РОЗДІЛ 2. АСИНХРОННИЙ ДВИГУН З ПОКРАЩЕНИМИ ПУСКОВИМИ ТА РЕГУЛЮЮЧИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	25
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	29
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕРС – електрорушійна сила;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

НС – намагнічуюча сила;

АД – асинхронний двигун;

ОП – обмотка підмагнічування;

ФР – фазний ротор;

ТО – трифазна обмотка.

ВСТУП

Широке поширення електричних машин обумовлено простотою передачі електроенергії на великі відстані і зручністю її використання. Основні споживачі електроенергії – електродвигуни. Вони приводять в рух практично всі промислові механізми.

Актуальність: Найбільш поширеними двигунами є асинхронні з короткозамкненим ротором. Вони мають найменші малогабаритні показники і вартість. В експлуатації є найбільш простими і надійними в порівнянні з іншими типами електричних машин.

Недоліками даного пристрою є неможливість регулювання швидкості обертання та залежність швидкості обертання від навантаження на валу. Для вирішення даної задачі запропоновано модель асинхронного двигуна з покращеними пусковими характеристиками.

В дипломному проекті приділено увагу методам пуску асинхронного двигуна, їх переваги та недоліки. Запропонована конструкція моделі, що складається з торцевого ротора та двох рознесених статора. До другого статора кріпиться магнітний шунт для можливості регулювання швидкості обертів асинхронного двигуна. Ротор має дві обмотки, одна з яких виконана у вигляді стрижнів з мідного сплаву, а друга – з матеріалу з підвищеним питомим опором з метою збільшення пускового моменту. Ротор кріпиться за допомогою маточини на валу. Переріз стрижнів короткозамкненої обмотки з мідного сплаву обирається таким чином, щоб при номінальному режимі роботи двигун мав мінімальне ковзання.

Мета проекту: покращення пускових характеристик та розширення діапазону регулювання швидкості.

Об'єкт дослідження: процес пуску та регулювання швидкості асинхронного двигуна.

Предмет дослідження: трифазний асинхронний двигун.

Практичне значення отриманих результатів: застосування запропонованого асинхронного двигуна на підприємствах призведе до покращення економічності. Зниження пускових струмів підвищує надійність виробу та період нормальної експлуатації та покращує роботу енергосистеми. Збільшується діапазон регулювання швидкості обертання, що зручніше у використанні на виробництвах, аніж асинхронні двигуни звичайної конструкції.

Апробація отриманих результатів: Всеукраїнський конкурс студентських наукових робіт за спеціальністю „Електричні машини та апарати” 2020, XXI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів "Політ. Сучасні проблеми науки" 2021.

Публікації: «Асинхронний двигун з покращеними пусковими характеристиками», XXI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів "Політ. Сучасні проблеми науки" ЗБІРНИК ТЕЗ, Київ–2021.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПУСКУ І РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

1.1. Основні вимоги до пуску асинхронного двигуна.

Основними характеристиками пуску асинхронного двигуна є пусковий момент і величина пускового струму [1]. Необхідно задовольнити наступні вимоги:

1) пусковий момент повинен перевищувати зовнішній момент. Ротор двигуна прийде в обертання і досягне номінальної частоти обертання, якщо пусковий момент, створений двигуном, буде більше моменту опору на валу, створюваного приводним механізмом [2].

2) пускові струми повинні не перевищувати допустимих значень [1]. Пусковий струм необхідно обмежити значенням, яке не є небезпечним для нормального режиму роботи мережі, механічної і термічної міцності основних елементів двигуна.

3) схема пуску повинна бути по можливості простою, а число і вартість пускових пристроїв мінімальними.

1.2. Прямий пуск

Даний метод застосовується в асинхронних двигунах з короткозамкненим ротором малої або середньої потужності. Обмотка його статора безпосередньо включається в мережу на номінальну напругу [1]. Двигуни даного типу проектують таким чином, щоб при підключенні статора до джерела живлення пускові струми не створювали перевищень температури, що є небезпечним для механічної або термічної стійкості основних елементів двигуна [3].

Кафедра АЕМ				НАУ 21 01 45 000 ПЗ			
Виконав	Пікуль М.О.			АСИНХРОННИЙ ДВИГУН З ПОКРАЩЕНИМИ ПУСКОВИМИ ТА РЕГУЛЮЮЧИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Тихонов В.В.				Д	9	39
Консульт.					141 ЕС-411Б		
Н-контр.	Тихонов В.В.						
Зав. каф.	Захарченко В.П.						

Двигуни зазвичай запускають за допомогою електромагнітного вимикача K магнітного пускача (рис. 1.1, а) і розганяються автоматично по механічній характеристиці (рис. 1.1, б) від точки П, відповідної початкового пускового моменту, до точки Р (перетину механічних характеристик 1 двигуна і приводним механізмом 2), що відповідає умові [1].

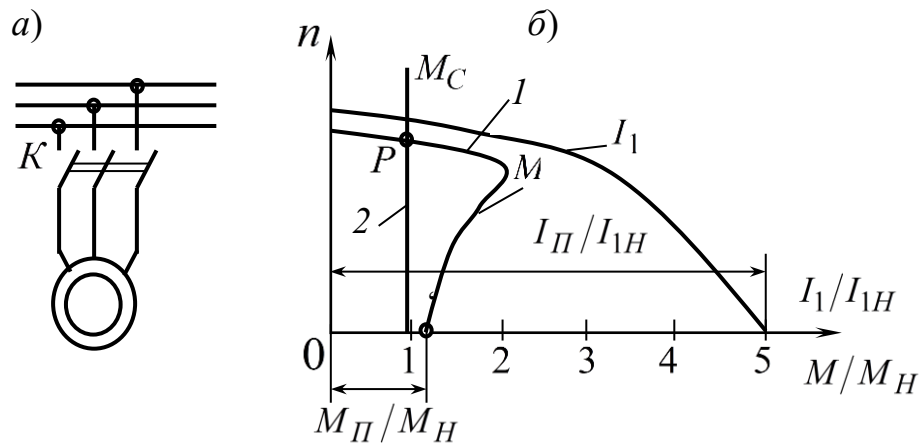


Рис. 1.1. Схема прямого пуску (а) та пускові характеристики двигуна (б)

Недоліком даного методу є порівняно невеликий пусковий момент та значний кидок пускового струму, що перевищує номінальне значення струму в 5-7 разів [1].

Сучасні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором проектують з таким розрахунком, щоб вони за значенням виникаючих електродинамічних зусиль, що діють на обмотки, і за умовами нагріву обмоток допускали прямий пуск.

Величину пускових струмів можна зменшити за рахунок зміни конструкції роторних обмоток, включення в мережу ротора додаткових опорів, зниження напруги мережі живлення. Перші два способи, зменшуючи пускові струми, зберігають достатньо високі значення пускових моментів. Застосування третього способу неминуче призводить до зменшення пускового і критичного моментів, які залежать від другого ступеня напруги живлення [1].

1.3. Короткозамкнені асинхронні двигуни з підвищеним пусковим моментом

1.3.1. Асинхронний двигун з подвійною білячою клітиною

Для досягнення високих значень ККД асинхронні двигуни проектують з малими величинами ковзання ($s = 0,01-0,03$), що можливо при малих значеннях активного опору роторної обмотки. Але в цьому випадку у двигуна невисокий пусковий момент (нижче номінального моменту), що ускладнює застосування прямого пуску. Виникає завдання створення асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, у яких активний опір обмотки ротора під час пуску досить великий і зменшується при зростанні частоти обертання ротора. Цю задачу вирішують, використовуючи ефект витиснення струму в обмотці ротора, застосовуючи роторні обмотки спеціальної конструкції. Такі двигуни отримали назву двигунів з підвищеним пусковим моментом [1].

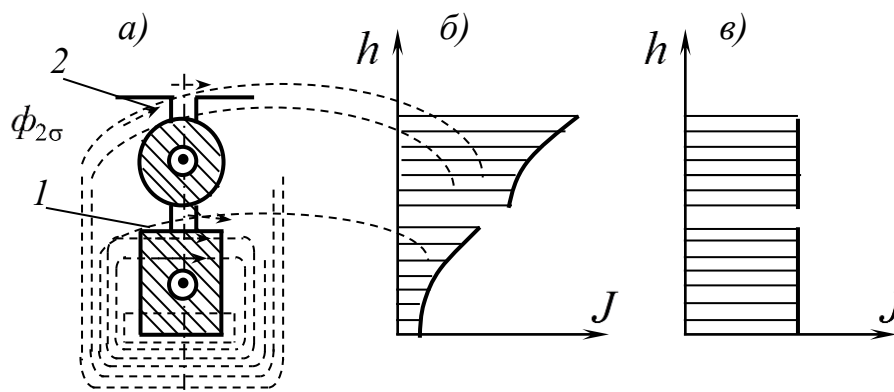


Рис. 1.2. Розріз паза (а) ротора з подвійною білячою кліткою і розподіл (б, в) густини струму по висоті паза (h)

Однією з різновидів таких конструкцій є винайдений М. О. Доліво-Добровольським асинхронний двигун з двоклітковим ротором, що має дві електрично пов'язані або непов'язані обмотки: робочу 1 - розташовану глибше в тілі ротора, пускову 2 - вміщену ближче до периферії (рис. 1.2 , а). Магнітна провідність в зоні робочої обмотки краща, ніж в пусковій, а потоки розсіювання її більше (провідність в зоні пускової обмотки штучно знижують відкриттям

паза, а потік розсіювання її таким чином зменшують). Пускову обмотку виконують з матеріалу з великим питомою-ним опором - латуні, алюмінієвої бронзи і т. д., а робочу обмотку - з міді [1].

В момент включення двигуна частота струму в його роторної обмотці $f_2=f_1$. Обидві обмотки в електричному відношенні включені паралельно, внаслідок чого струм розподіляється між робочою і пусковою обмотками обернено пропорційно їх повним опорам. Так як у робочої обмотки дуже великий індуктивний опір, то і її повний опір в кілька разів більший повного опору пускової обмотки, у якої власний індуктивний опір надзвичайно малий. Струм робочої обмотки в цьому випадку значно менший струму пускової обмотки. Внаслідок великого індуктивного опору розсіювання робочої обмотки струм в ній відстає на великий кут від ЕРС, індукованої потоком взаємоіндукції, і відповідно ця обмотка створює при пуску відносно малий пусковий момент. Навпаки, струм пускової обмотки при пуску не тільки значний за величиною, але внаслідок незначного індуктивного і великого активного опору цієї обмотки він майже збігається за фазою з ЕРС взаємоіндукції, в результаті чого ця обмотка створює досить великий крутний момент [1].

По мірі розгону ротора зменшується ковзання і частота $f_2=f_1s$, знижується індуктивний опір робочої обмотки. Після закінчення процесу розгону значення ковзання стає малим і роль реактивних опорів в струморозподілі виявляється незначною. Розподіл струмів в обмотках ротора визначається співвідношенням:

$$I_{2\Pi}/I_{2P} \approx R_{2P}/R_{2\Pi}$$

і струм проходить в основному по робочій обмотці ротора, у якій $R_{2P} < R_{2\Pi}$. Таким чином, в двохклітинному роторі струм в початковий момент пуску витісняється в зовнішню пускову обмотку, створює великий пусковий момент, а після закінчення процесу пуску протікає по робочій обмотці з малим активним опором, внаслідок чого двигун працює з високим ККД. З метою спрощення технології виробництва двокліткові двигуни виконують з

електрично пов'язаними литими алюмінієвими обмотками. Зменшення реактивного опору пускової обмотки такого ротора досягають за рахунок збільшення розкриття паза, а підвищене значення активного опору отримують, зменшуючи перетину пускової обмотки [1].

1.3.2. Асинхронний двигун з глибокими пазами

Принцип даного двигуна також заснований на явищі витіснення струму. Обмотка глибокопазного ротора працює в період пуску як змінний опір, що автоматично зменшується в міру збільшення частоти обертання ротора. На рис. 1.3, а представлена найбільш ймовірна картина розподілу магнітного потоку розсіювання паза ротора. З неї видно, що потокозчеплення частин провідника, що лежать ближче до дна паза (ділянка 1'-1'), більше потокозчеплення частин провідника, розташованих ближче до поверхні паза (ділянка 2'-2'). Відповідно в нижчих волокнах наводиться велика ЕРС розсіювання, в вище розташованих – менша [1].

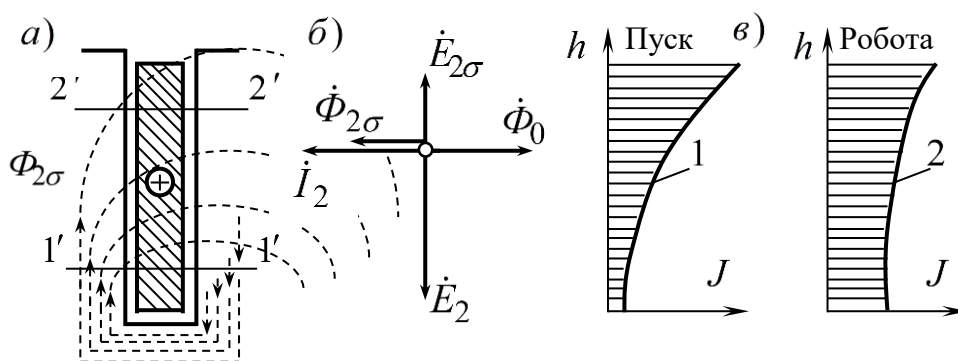


Рис. 1.3. Паз (а) глибокопазного ротора, діаграма ЕРС і розподіл щільності струму (в) по висоті паза (h)

Це особливо помітно при нерухомому роторі, коли частота струму в його ланцюзі дорівнює частоті струму в статорі. Діаграма рис. 1.3, б показує протидію ЕРС розсіювання $E_{2\sigma}$ основної ЕРС E_2 , що перешкоджає проходженню струму I_2 і витісняє його в верхню частину паза. Відбувається як би зменшення перетину провідника і, як наслідок цього, збільшення його активного опору при одночасному зменшенні індуктивного (потокозчеплення

діючої частини перетину менше, ніж за все провідника). Зростання активного опору знижує пусковий струм і збільшує пусковий момент [1].

По мірі збільшення частоти обертання ротора частота струму в ньому зменшується, ефект витіснення слабшає. Чим ближче до синхронної стає частота обертання ротора, тим більше вирівнюється крива 1 розподілу струму по висоті паза (рис. 1.3, в) до кривої 2 в кінці пуску.

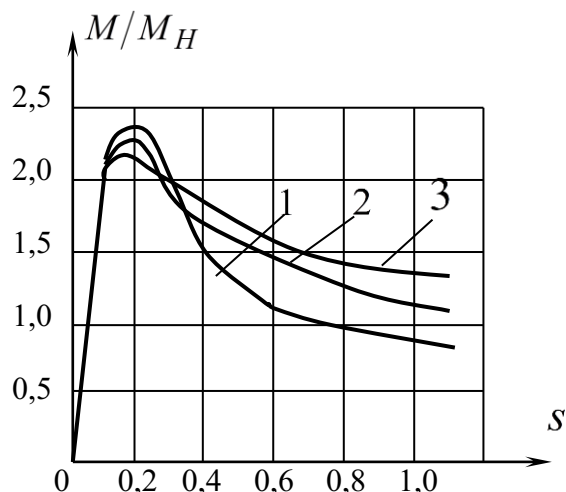


Рис. 1.4. Характеристики двигунів з різними обмотками роторів

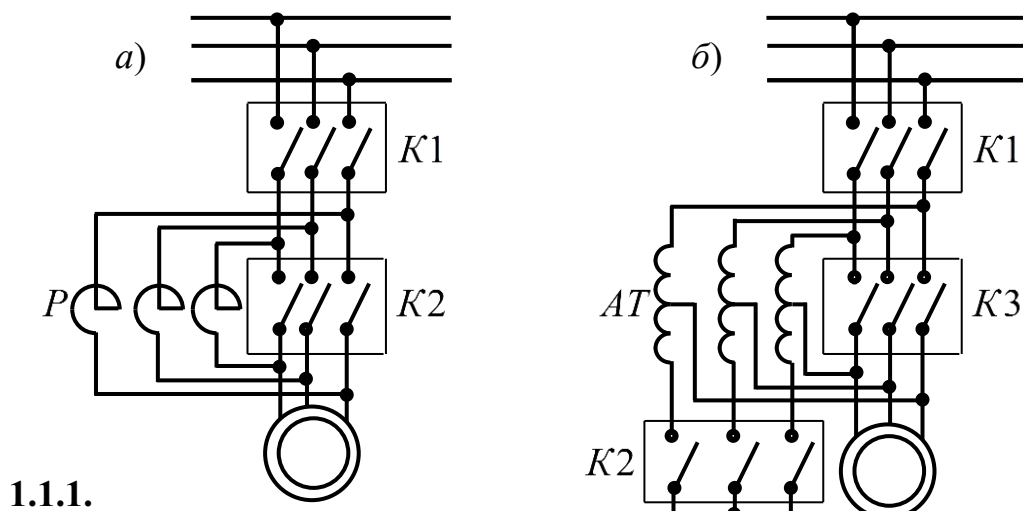
Залежності $M = f(s)$ двигунів з різними конструкціями обмоток ротора наведені на рис. 4.4 (крива 1 - для двигуна зі звичайною короткозамкненою обмоткою, крива 2 - для двигуна з глубокопазним ротором, крива 3 - для двигуна з двухклітинним ротором) [1].

Найбільший пусковий момент отримують в двигуні з двухклітковим ротором. Кратність пускового моменту для нього $M_{\Pi}/M_H = 1,3-1,7$, при кратності пускового струму $I_{\Pi}/I_H = 4,5-6$. За рахунок більшої величини потоку розсіювання в роторній обмотці коефіцієнта потужності і ККД двигунів з підвищеним пусковим моментом трохи нижче, ніж двигунів нормального виконання [1].

1.4. Пуск асинхронного двигуна при зниженій напрузі

Якщо за умовами падіння напруги в мережі прямий пуск двигуна з короткозамкненим ротором неможливий, застосовують різні способи пуску при

зниженій напрузі. Так як момент пропорційний другому ступеня напруги на затискачах обмотки статора або другого ступеня пускового струму, знижується пусковий момент, то виникають проблеми пуску при зниженій напрузі [1]. Способи пуску застосовують для високовольтих двигунів великої потужності при їх пуску на холостому ході або при незначному навантаженні [4].



1.1.1.

Рис. 1.5. Схеми пуску асинхронних двигунів при зниженій напрузі

1.4.1. Реакторний пуск

Здійснюють за схемою рис. 1.5, а. За допомогою ключа $K1$ двигун отримує живлення через трифазний реактор (реактивну або індуктивну котушку) P . На опорі реактора створюється падіння напруги $\Delta U_D = x_P I_{\text{п}}$, внаслідок чого до обмотці статора буде прикладена знижена напруга $U_D = U_C - \Delta U_D$ [1].

По мірі розгону двигуна знижується ЕРС E_{2s} , індукована в обмотці ротора і пусковий струм. В результаті цього зменшується падіння напруги ΔU_D , а напруга, прикладена до обмотки статора двигуна, автоматично зростає в міру розгону двигуна. Іноді в ланцюг статора включають активний опір [1; 2].

Після досягнення нормальної частоти обертання включається ключ $K2$, шунтовий реактор, в результаті чого на двигун подається повна напруга мережі.

При реакторному пуску, для зменшення пускового струму в K раз:

$$K = \frac{I_{\Pi}}{I_D} = \frac{U_C}{U_D}$$

необхідно знизити напругу теж в K раз. При цьому пусковий момент

$$M_{\Pi} = cU^2 = c \left(\frac{U_H}{K} \right)^2 = \frac{M_{\Pi H}}{K^2}$$

зменшується в K^2 раз. $M_{\Pi H}$ -пусковий момент при номінальній напрузі мережі. Значне зниження пускового моменту є недоліком реакторного пуску [1].

1.4.2. Автотрансформаторний пуск

Здійснюють підключенням двигуна до мережі (рис. 1.5, б) через понижуючий автотрансформатор AT в наступному порядку. Спочатку включають ключі $K1$ і $K2$ і на двигун подається знижена напруга. Після досягнення двигуном певної частоти обертання ключ $K2$ відключають і двигун отримує живлення через частину обмотки автотрансформатора AT , який в цьому випадку працює як реактор. Потім вмикають ключ $K3$, в результаті чого на обмотки статора двигуна подається напруга мережі. Пускові автотрансформатори розраховують на короточасну роботу, що дозволяє зменшити їх масу і габарити, з декількома відгалуженнями на різні величини вторинного напруги [1; 3].

1.4.3. Пуск двигуна перемиканням «зірка – трикутник»

Можливий в двигунах (при виведених всіх шести кінцях обмотки статора), призначених працювати за схемою з'єднання обмоток статора в «трикутник» і призводять в хід механізми з малими пусковими моментами [1].

Якщо на період пуску обмотку статора перемкнути на схему «зірка», а напругу живлення залишити тим же, що і при схемі «трикутник», то напруга на фазу зменшиться в $\sqrt{3}$. В $\sqrt{3}$ зменшиться й фазний струм, а електромагнітний

момент - в три рази, так як $M=cU^2$. У період пуску зменшиться в три рази (в порівнянні зі схемою «трикутник») і лінійний струм. Робота двигунів в схемі «зірка» вигідна до навантажень, які перевищують 40-50% від номінальної: ККД і коефіцієнт потужності помітно підвищуються [1; 3].

Схема пуску перемиканням «зірка - трикутник» приведена на рис 1.6. У момент перемикання обмотку статора на короткий час від'єднують від мережі, а потім знову приєднують до неї [1].

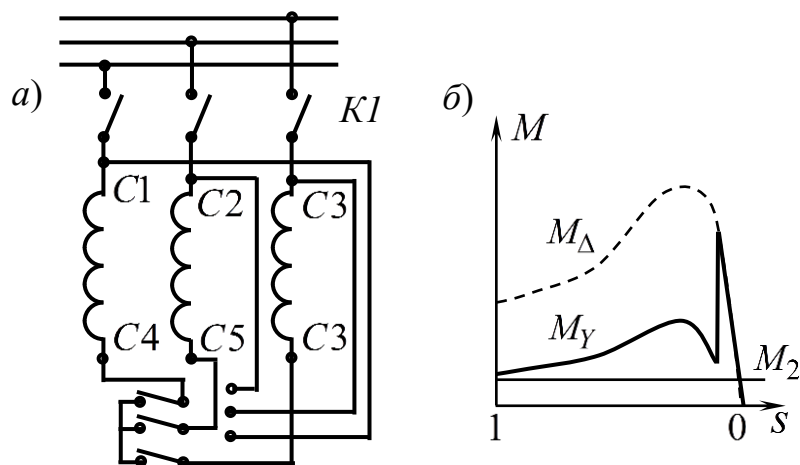


Рис. 1.6. Пуск перемиканням з зірки в трикутник

Це призводить до появи вільних складових магнітного потоку, що супроводжується значними сплесками струму, перевищуючі номінальне значення [1]. Спосіб широко застосовувався під час пуску низьковольтних двигунів, але при підвищенні потужності мереж втратив своє значення і зараз застосовується рідко [4].

1.5. Пуск асинхронного двигуна з фазним ротором

Двигуни з фазним ротором застосовуються значно рідше, ніж двигуни з короткозамкненим ротором. Їх використання обґрунтовано в наступних випадках:

- коли двигуни з короткозамкненим ротором є неприйнятними за умовами регулювання частоти обертання [1];

- коли статичний момент опору на валу при пуску M_C великий і тому асинхронний двигун з короткозамкненим ротором при пуску при зниженій напрузі неприйнятний, а прямий пуск такого двигуна неприпустимий за умовами впливу великих пускових струмів на мережу [1];
- коли приводяться в рух маси настільки великі, що виділяється у вторинному ланцюзі двигуна теплова енергія викликає неприпустимий нагрів короткозамкненою обмотки ротора [1].

Включення в ланцюг фазного ротора додаткового активного опору не тільки знижує пускові струми, а й збільшує пусковий момент [4]. Перше безпосередньо впливає з рівняння пускового струму (по Г-образної схемою заміщення) [1]:

$$I = \frac{U_C}{\sqrt{(R_1 + R_2 + R_D)^2 + (X_1 + X_2)^2}}$$

В міру збільшення активного опору роторної ланцюга максимум кривої переміщається в сторону більших значень ковзання, зберігаючись незмінною величиною.

Схема пуску з введенням в ланцюг ротора додаткового опору (реостата) представлена на рис. 1.7, *а*, а діаграма зміни струму і частоти обертання - на рис. 1.7, *б*. З додатковим опором ротор двигуна розганяється під дією моменту, що змінюється по кривій 4, показаної на рис. 1.8. В міру збільшення частоти обертання крутний момент M зменшується і може стати менше деякого моменту $M = M_{\Pi min}$. Тому при досягненні двигуном моменту $M = M_{\Pi min}$, відповідно точці *а* кривої 4, частина опору пускового реостата виводять, замикаючи контактор $K3$, що призводить до збільшення струму обмотки статора (рис. 1.7, *б*). Обертаючий момент при цьому миттєво зростає до $M_{\Pi тах}$, а потім при збільшенні частоти обертання змінюється за влучним висловом 3, відповідної опору реостата $R_{\Pi 2} = R_{D1} + R_{D2}$. При розгоні до точки *б*, що відповідає тому ж моменту $M = M_{\Pi min}$, виводять другу ступінь опору реостата, і двигун переходить на характеристику 2, відповідну $R_{\Pi 1} = R_{D1}$ [1].

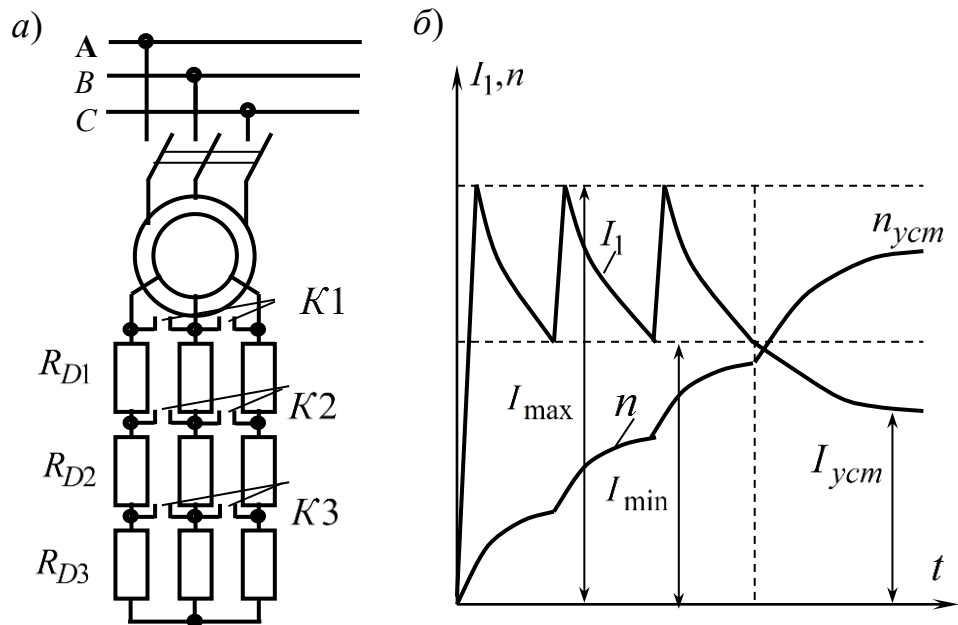


Рис. 1.7. Реостатний пуск асинхронного двигуна (а), графіки зміни частоти обертів і струму (б)

Таким чином, при поступовому (ступеневу) зменшенні пускового опору пусковий момент змінюється від $M_{\Pi\max}$ до $M_{\Pi\min}$, а частота обертання зростає по ламаній кривій, показаної на рис. 1.7, б або рис. 1.8 жирними лініями [1]. В кінці пуску пусковий реостат повністю виводять контактором $K1$, обмотка ротора замикається накоротко, і двигун переходить на роботу по природній характеристиці 1, розганяючись до частоти обертання, яка відповідає моменту навантаження на валу двигуна (точка Р). Струм обмотки статора і частота обертання досягають установлених значень (рис. 1.7, б), відповідних моменту на валу двигуна [3].

Збільшення пускового моменту при збільшенні опору роторної ланцюга можна показати за допомогою векторної діаграми (рис. 1.9) [1]. При $R_D=0$ струм роторного ланцюга $I_{2\Pi}$ великий, але відстає від ЕРС на порівняно великий кут ψ_2 . Активна складова струму, що визначає момент, не велика і дорівнює $I_{2\Pi A}$. При включенні опору R_D , струм $I_{2\Pi}$ і кут ψ_2 зменшуються. Активна складова струму $I'_{2\Pi A}$ і разом з нею момент збільшуються.

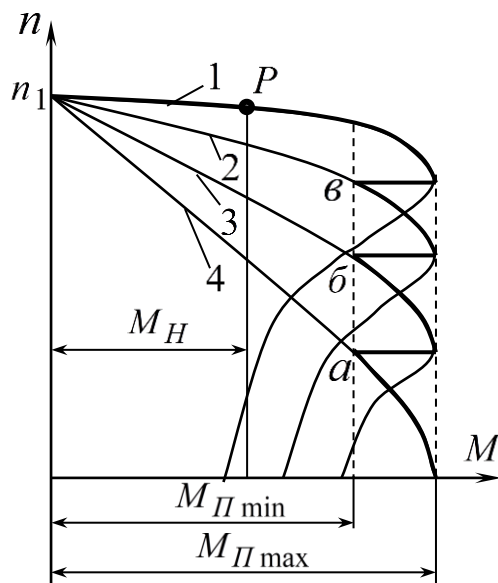


Рис. 1.8. Пускова діаграма асинхронного двигуна

Таким чином, включивши реостат в ланцюг ротора, можна здійснити пуск двигуна при $M_{II} = M_{max}$ і різко зменшити пусковий струм [1].

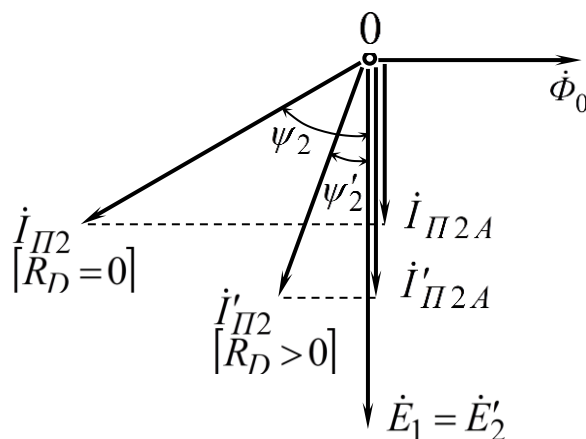


Рис. 1.9. Векторна діаграма струмів ротора при реостатному пуску

У ряді випадків при пуску двигунів з фазним ротором в ланцюг ротора послідовно або паралельно включають індуктивний опір (реактор) [3; 4]. Він виконує роль автоматичного регулятора струму ротора. У початковий момент пуску, коли частота струму в роторі $f_2=f_1$, індуктивний опір реактора великий і обмежує величину пускового струму. По мірі розгону ротора зменшується його ЕРС E_{2s} , але одночасно зменшуються частота і результуючий індуктивний опір ланцюга ротора X_{2s} , в результаті чого струм ротора зменшується повільніше,

ніж при включенні пускового реостата без реактора. При зменшенні індуктивного опору реактора зростає $\cos \psi_2$. Електромагнітний момент $M = c_M \Phi_m I_2 \cos \psi_2$ при цих умовах також змінюється повільніше і на початку розгону його значення може бути вище, ніж без реактора [1].

1.6. Асинхронний двигун з підвищеним пусковим моментом та спроможністю регулювання обертів при зміні навантаження

Ротор двигуна виконано у вигляді двох роторів напресованих один на одного, перший з яких виконаний у вигляді масиву, а другий класичної конструкції з короткозамкненою обмоткою, розміщенням магнітного шунта на внутрішній частині магнітопроводу статора з обмоткою підмагнічування, яка живиться від блока трансформатора струму через силові випрямлячі [7].

На рис 1.10 представлена конструктивна схема асинхронного двигуна, яка вміщає статор 1 и ротор 2.

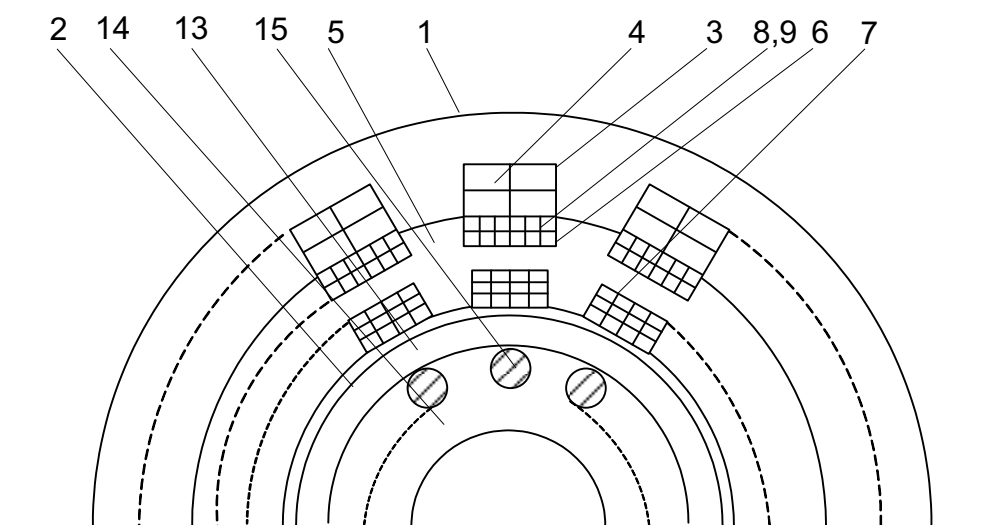


Рис. 1.10. Конструктивна схема асинхронного двигуна

Статор 1 має на внутрішній циліндричній поверхні пази 3, в яких укладається трифазна обмотка 4 та внутрішній магнітний шунт 5 з пазами 6, 7 на внутрішній і зовнішній циліндричних поверхнях.

В пазах 6 и 7 розмішена тороїдальна обмотка підмагнічування, яка складається з двох частин 8, 9, одна з яких 8 отримує енергопостачання від

силових випрямлячів 10, рис.1.11. Силові випрямлячі 10 підключені на вихід блока трансформаторів струму 11. Друга обмотка підмагнічування 9 отримує енергопостачання від блоку регулювання 12.

Ротор двигуна 2 виконаний з двох роторів 13 и 14, напресованих один на одного. Зовнішній ротор 13, який має менші радіальні розміри ніж внутрішній 14, виконаний у вигляді масиву зі сталі. Внутрішній ротор 14 за конструкцією аналогічний асинхронному двигуну звичайного виконання з короткозамкненою обмоткою 15. Переріз стержнів короткозамкненої обмотки 15 вибирається таким, щоб при номінальному режимі роботи двигун мав мінімальне ковзання [7].

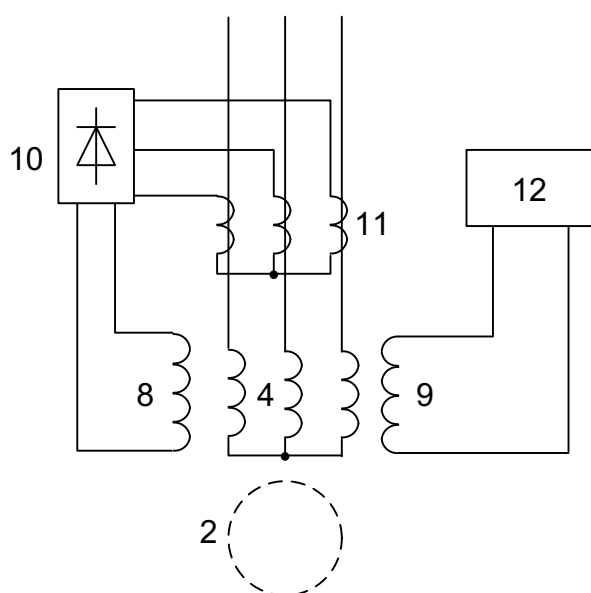


Рис. 1.11. Схема включення

Електромагнітний момент асинхронного двигуна створюється сумарною дією електромагнітних моментів від взаємодії вихрових струмів в масиві 13 двигуна і струмів в короткозамкненій обмотці 15 з магнітним полем машини. При цьому в ділянці малих ковзань переважає момент, який створюється короткозамкненою обмоткою 15, а в ділянці великих ковзань – масивом 13 [7].

Пускові режими і режим регулювання та стабілізації обертів двигуна відбуваються наступним чином [5,6].

При включенні двигуна в мережу (пуск) споживаний обмоткою статора 4 струм знано перевищує номінальний струм двигуна. У результаті струм в обмотці підмагнічування 8 максимальний, так як вона запитується від блоку

трансформаторів струму 11 через силові випрямлячі 10. Магнітний шунт 5 насичується та його потік витісняється в ротор [4].

Так як при пуску частота ЕРС в роторі максимальна ($f_2 = f_1$), то спостерігається явище «витіснення» струмів в обмотках ротора 15 та в масиві 13, до зовнішньої поверхні. В результаті при пуску струм в обмотці ротора 15 практично дорівнює нулю, а витіснення струмів в масиві 13, до зовнішньої поверхні, приводить до збільшення його активного опору. Таким чином, двигун має великий пусковий момент ($M_{\text{пуск}}$), рис. 1.12, при зменшених пускових струмів [4].

При збільшенні швидкості обертів величина споживаного струму обмоткою статора 4 зменшується, а значить и зменшується струм в обмотці підмагнічування 8. Магнітне коло шунта 5 стає ненасиченим і частина потоку, який створюється обмоткою 4, замикається через нього, у результаті магнітний потік ротора зменшується. Окрім того частота ЕДС в роторі 2 також зменшується і ефект «витіснення» струмів падає. Це веде до зменшення активного опору масиву и зростанню струмів в короткозамкненій обмотці 15. Електромагнітний момент двигуна зростає, и він працює з ковзанням S_1 [4].

Таким чином в момент пуску асинхронний двигун має великий момент при значно менших пускових струмах в порівнянні з асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором.

Регулювання швидкості обертів асинхронного двигуна досягається шляхом зміни величини магнітного потоку, який замикається через шунт.

При зростанні струму в обмотці підмагнічування 9 через вплив на неї сигналу з блока регулювання 12 відбувається насичення магнітного шунта 5, що веде до насичення зовнішнього ротора 13, отже й до зростання магнітного потоку, який замикається через внутрішній ротор 14 [4].

Таким чином, в створені електромагнітного моменту починає приймати участь короткозамкнена обмотка 15, яка має малий активний опір. Механічна характеристика двигуна починає зміщуватись вліво і ковзання S_2 зменшується (обороты зростають), рис. 1.12. Чим більший струм в обмотці підмагнічування 9, тим більша частина магнітного потоку замикається через внутрішнє ярмо

ротора 2. Тому електромагнітний момент, який створюється в двигуні, при великих струмах обмотки підмагнічування обумовлений в основному взаємодією струму в обмотці ротора з магнітним полем машини. Зміна струму в обмотці підмагнічування дозволяє в широкому діапазоні змінювати частоту обертання асинхронного двигуна [4].

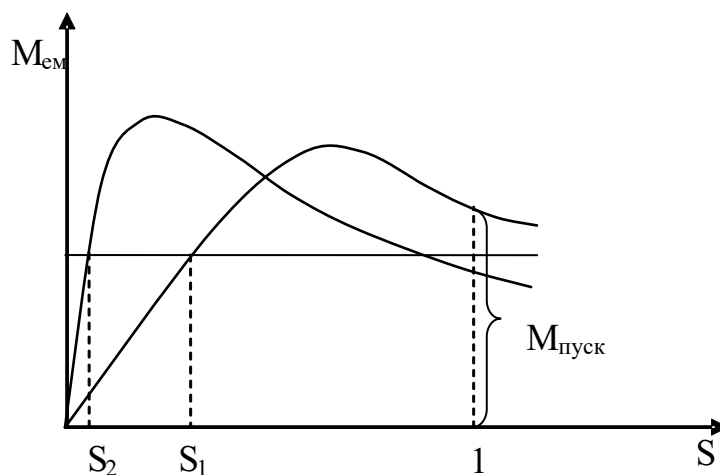


Рис. 1.12. Механічна характеристика двигуна

При зміні навантаження на валу асинхронного двигуна змінюється споживаний струм обмоткою 4 статора 1. Це веде до зміни величини струму в обмотці підмагнічування 8 через зміну величини напруги на виході силових випрямлячів 10, і як наслідок зміна ступеня насичення магнітного шунта. Тому при зміні величини навантаження на валу асинхронного двигуна змінюється й величина електромагнітного моменту, що забезпечує стабілізацію частоти обертання асинхронного двигуна [4].

Виконання зовнішнього ротора у вигляді масиву й виключення проміжного циліндра, а також розміщення магнітного шунта на внутрішній частині магнітопроводу статора дозволяє прийняти для обмотки статора обмотку барабанного типу, число витків в пазу який в два рази менше, ніж в обмотці тороїдального типу, що значно спрощує конструкцію асинхронного двигуна та знижує його радіальні розміри [7].

РОЗДІЛ 2

АСИНХРОННИЙ ДВИГУН З ПОКРАЩЕНИМИ ПУСКОВИМИ ТА РЕГУЛЮЮЧИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Пропонований асинхронний двигун має торцеву конструкцію і два рознесений статора [8].

На рис. 2.1. зображена конструктивна схема (поздовжній розріз), який складається з статора 1, статора 2 з магнітним шунтом 3, корпусу 4, ротора 5, розміщеного за допомогою маточини 6 на валу 7.

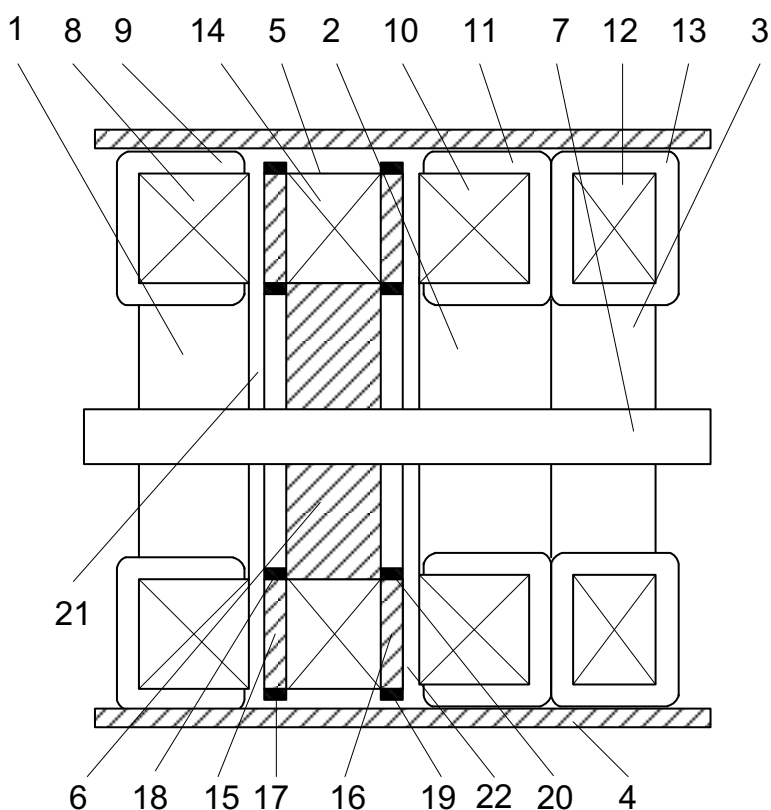


Рис. 2.1. Конструктивна схема (поздовжній розріз)

Статор 1 має магнітопровід 8, який виконується крученим з стрічкової електротехнічної сталі порожніми з радіальними відкритими пазами на одному торці, де розміщується тороїдальна трифазна обмотка 9.

Кафедра АЕМ				НАУ 21 01 45 000 ПЗ			
Виконав	Пікуль М.О.			АСИНХРОННИЙ ДВИГУН З ПОКРАЩЕНИМИ ПУСКОВИМИ ТА РЕГУЛЮЮЧИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Тихонов В.В.				Д	25	39
Консульт.					141 ЕС-411Б		
Н-контр.	Тихонов В.В.						
Зав. каф.	Захарченко В.П.						

Статор 2 має магнітопровід 10, який виконується крученим з стрічкової електротехнічної сталі порожніми з радіальними відкритими пазами на обох торцях, де розміщується тороїдальна трифазна обмотка 11.

З статором 2 стикається магнітний шунт 3, який має магнітопровід 12, виконаний крученим з стрічкової електротехнічної сталі порожнистим з радіальними відкритими пазами на одному торці, де розміщується тороїдальна обмотка підмагнічування 13.

З метою зменшення зазорів в стиках магнітопроводу 10 статора 2 і магнітопроводу 12 магнітного шунта дотичні торці повинні достатньо точно оброблятися.

Ротор 5 має магнітопровід 14, який за допомогою маточини напресований на вал 7. Магнітопровід 14 виконується крученим з стрічкової електротехнічної сталі має пази з обох торців де розміщені обмотка 15 і обмотка 16.

На рис.2.2 наведено поперечний розріз ротора в місці розташування обмотки 15. Обмотка 15 виконана у вигляді стрижнів з мідного сплаву. Торці стрижнів замкнуті накоротко кільцями 17 і 18. Переріз стрижнів короткозамкненої обмотки 15 обирається таким, щоб при номінальному режимі роботи двигун мав мінімальне ковзання [8].

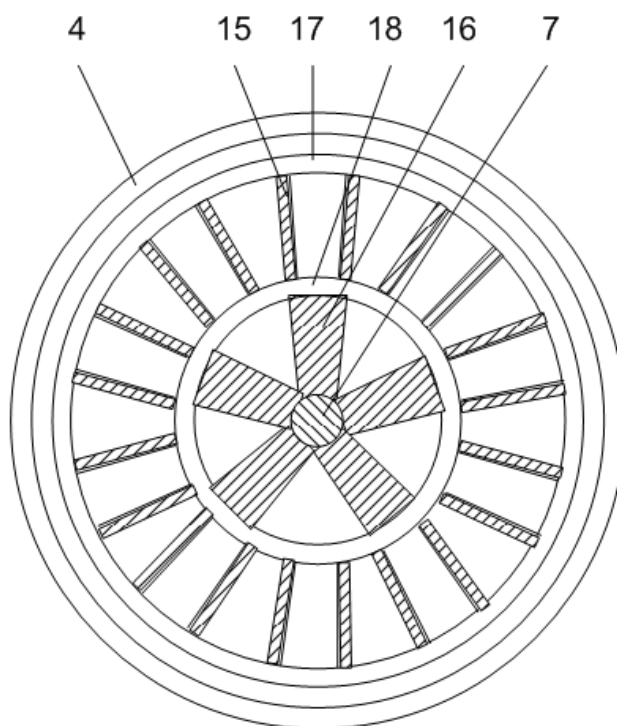


Рис. 2.2. Поперечний розріз ротора

Обмотка 16, рис. 1, виконана у вигляді стрижнів і сплаву з металу (бронзи) з підвищеним питомим опором. Торці стрижнів замкнуті накоротко кільцями 19 і 20.

Між магнітопроводом 8 статора 1, магніпроводом 10 статора 2 і ротором з торцевих поверхонь є повітряні зазори 21 і 22.

На рис. 2.3. представлена схема включення обмоток асинхронного двигуна. Обмотка 9 вмикається за схемою «трикутник», а обмотка 11 по схемі «зірка» [8].

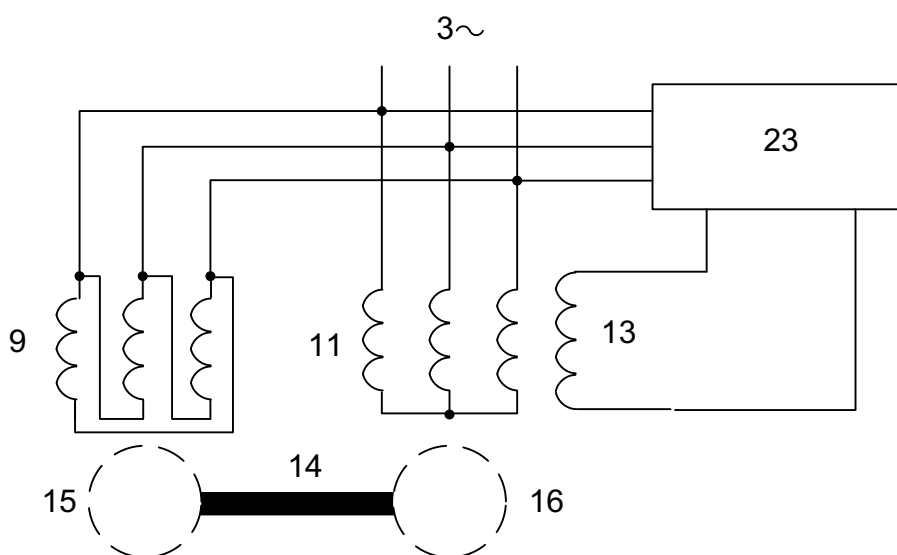


Рис. 2.3. Схема включення обмоток асинхронного двигуна

Обмотка підмагнічування 13 отримує живлення від блоку регулювання швидкості обертання 23.

Пуск і процес регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна відбувається наступним чином.

Електромагнітний момент асинхронного двигуна створюється взаємодією струмів в короткозамкненій обмотці 15 з магнітним полем від струмів в обмотці 9 і струмів в короткозамкненою обмотці 16 з магнітним полем від струмів в обмотці 11.

Так як обмотка 16 має підвищений опір то в процесі пуску електромагнітний момент значно вище, ніж у асинхронних двигунів зі звичайною обмоткою. Тому пусковий момент пропонованого двигуна вище, ніж в прототипі.

З огляду на те, що обмотка статора 11 включена за схемою «зірка» пускові струми можуть бути зменшені за порівняння зі схемою, включеної в «трикутник» в три рази. Так як двигун має обмотку 9 по схемі «трикутник» і обмотку 11 по схемі «зірка» пускові струми двигуна знижуються в порівнянні з прототипом від 1,5 до 2 разів.

Для регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна використовується обмотка підмагнічування 13, яка включена на блок регулювання 23.

Магнітний потік, створюваний струмами, що протікають через обмотку статора 11, замикається через магнітопровід 14 ротора і через магнітний шунт. Змінюючи величину магнітного потоку шунта 12, можна змінювати величину магнітного потоку ротора.

Так при збільшенні струму в обмотці підмагнічування 13 магнітний опір шунта 12 зростає. Це веде до зменшення магнітного потоку шунта 12, що викликає збільшення магнітного потоку, що замикається через магнітопровід 14 ротора. Електромагнітний момент асинхронного двигуна зростає, а значить і зростає швидкість обертання ротора [1].

Таким чином, за рахунок виконання магнітопроводів статора та ротора витими з розміщенням на статорах двох обмоток, що з'єднані за схемами «зірка» і «трикутник», а також розміщенням в пазах ротора короткозамкнених обмоток з різними питомими опорами і застосуванням магнітного шунта з обмоткою підмагнічування, значно знизити пускові струми при підвищенні електромагнітного моменту і забезпечити можливість регулювання швидкості асинхронного двигуна [8].

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Пропонована конструкція асинхронного двигуна відрізняється новизною конструкцій від існуючих двигунів. Наявність на статорі магнітного шунта і ротора, який має дві короткозамкнені обмотки, вимагає для дослідження основних енергетичних показників двигуна [9; 10].

Вихідні дані:

$$U_{\phi 1/\lambda 1} = 220/380 \text{ В};$$

$$f = 50 \text{ Гц};$$

$$U_{\phi 2/\lambda 2} = 98/170...0 \text{ В};$$

$$S = S_{2\max};$$

$$\cos \phi_2 = 1;$$

$$\lambda = \eta_{\max};$$

$$\cos \phi_1 = 0,82.$$

1. Діаметр середнього кола порожнистого циліндричного магнітопроводу, що складається з трьох частин:

$$D_{cp} = \sqrt[3]{32S_{1\max} \kappa_{e1} \cdot 10^5 / \alpha \kappa_{\phi} \kappa_{об1} B_p A_{1cp} f} =$$

$$= \sqrt[3]{32 \cdot 131 \cdot 0,9 \cdot 10^5 / 0,69 \cdot 1,09 \cdot 0,96 \cdot 0,8 \cdot 300 \cdot 50} = 35 \text{ см.}$$

2. Зовнішній та внутрішній діаметри магнітопроводу:

$$D_H = D_{cp} / 0,76 = 46 \text{ см}; D_B = 0,52; D_H = 24 \text{ см.}$$

Кафедра АЕМ				НАУ 21 01 45 000 ПЗ			
Виконав	Пікуль М.О.			АСИНХРОННИЙ ДВИГУН З ПОКРАЩЕНИМИ ПУСКОВИМИ ТА РЕГУЛЮЮЧИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ	Літера	Аркуш	Аркушів
Керівник	Тихонов В.В.				Д	29	39
Консульт.					141 ЕС-411Б		
Н-контр.	Тихонов В.В.						
Зав. каф.	Захарченко В.П.						

3. Осьова довжина ярма кожної частини складового циліндричного магнітопроводу:

$$l_{я} = 0,29, D_{cp} = 10,2 \text{ см.}$$

Радіальний розмір (см) ярма:

$$h_{я} = \frac{D_H - D_B}{2} = 11.$$

4. Величина магнітного потоку в ярмі первинної (середньої) частини магнітопроводу:

$$\Phi_{я1} = 0,93h_{я}l_{я}B_{я} \cdot 10^{-4} = 0,93 \cdot 11 \cdot 10,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-4} = 168 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

5. Число витків в фазі первинної тороїдальної обмотки:

$$\begin{aligned} \omega_{\phi 1} &= \frac{k_{e1} U_{\phi 1}}{4k_{\phi}} \times k_{об1} f \Phi_{я1} = \\ &= 0,9 \cdot 220 \cdot 10^{-4} / 4 \cdot 1,09 \cdot 0,96 \cdot 50 \cdot 168 \cong 56. \end{aligned}$$

6. Число радіальних пазів на дотичних торцях порожнистих циліндрів:

$$z = z_2 = z_{III} = 24.$$

7. Число витків в секції первинної обмотки:

$$\omega_{c1} = \omega_{\phi 1} m_1 / z = 7.$$

8. Пазовий крок за середньою окружності:

$$t_{п.ср} = 3,14D_{cp} / z = 4,58 \text{ см.}$$

9. Ширина паза:

$$b_{\Pi} \cong 0,5t_{\Pi,ср} = 2,3 \text{ см.}$$

10. Струм в фазі первинної обмотки:

$$I_{\phi 1} = 131 \cdot 10^3 / 3 \cdot 220 = 198 \text{ А.}$$

11. Перетин фази:

$$q_{\phi 1} = I_{\phi 1} / j_1 = 198 / 4,02 = 49,22 \text{ мм}^2 \text{ (чотири паралельних дроти перетином} \\ 12,29 \text{ мм}^2; 10 \times 1,25 \text{ мм, два дроти по ширині паза).}$$

12. Глибина пазів на середній частині магнітопроводу:

$$h_{\Pi 1} = \omega_{c1} (a + 0,1 + 0,2) \times 2 + \Delta = 7 \cdot (1,25 + 0,3) \cdot 2 + 1,3 = 23 \text{ мм.}$$

13. Середня довжина витка первинної обмотки:

$$l_{ср 1} = 2(h_{я} + l_{я} + 2h_{\Pi 1}) = 2 \cdot (11 + 10,2 + 2 \cdot 2,3) = 51,6 \text{ см.}$$

14. Активний опір фази при $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$R_{\phi 1} = \omega_{\phi 1} l_{ср 1} \cdot 1,32 / 57 q_{\phi 1} = \\ = 56 \cdot 0,516 \cdot 1,32 / 57 \cdot 49,2 = 0,0136 \text{ Ом}; \\ I_{\phi 1} R_{\phi 1} = 2,7 \text{ В.}$$

15. Втрата потужності в первинній обмотці:

$$\Delta P_{м1} = 3 \cdot 2,7 \cdot 198 = 1600 \text{ Вт.}$$

16. Максимальна НС обмотки підмагнічування шунта:

$$F_{o.п.max} \cong 2 \cdot A_1 \cdot 3,14 D_{cp} = \\ = 2 \cdot 300 \cdot 3,14 \cdot 35 = 6560 \text{ A.}$$

17. Число витків в обмотці підмагнічування при:

$$I_{o.п.max} = 57 \text{ A}, \omega_{o.п} = F_{o.п.max} / I_{o.п.max} = 1152; \\ \omega_{c.o.п} = \omega_{o.п} / z = 48.$$

18. Перетин і розміри проводу обмотки підмагнічування:

$$q_{o.п.} = I_{o.п.} / j_{o.п.} = 57 / 5,1 = 11,15 \text{ мм}^2; 7,1 \times 1,6 \text{ мм (три приводи по ширині паза} \\ \text{і 16 по глибині).}$$

19. Глибина пазів на магнітному шунт:

$$h_{п.ш} = 16(1,6 + 0,1 + 0,2) + 1,6 = 32 \text{ мм.}$$

20. Середня довжина витка обмотки підмагнічування:

$$l_{в.o.п.} = 2(h_{я} + l_{ш} + 2h_{я}) = 2(11 + 10,2 + 2 \cdot 3,2) = 55 \text{ см.}$$

21. Опір обмотки підмагнічування при $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$R_{o.п.} = 1152 \cdot 0,55 \cdot 1,32 / 57 \cdot 11,15 = 1,32 \text{ Ом.}$$

22. Величина напруги і потужність втрат в обмотці підмагнічування:

$$U_{o.п.} = I_{o.п.} R_{o.п.} = 75 \text{ В.}$$

23. Число витків в фазі і в секції вторинної обмотки:

$$\begin{aligned}\omega_{\phi 2} &= \kappa_{\epsilon 2} U_{\phi 2} / 4 \kappa_{\phi} \kappa_{\sigma 2} f \cdot 0,96 \Phi_{\text{я}1} = \\ &= 1,1 \cdot 98 \cdot 10^{-4} / 4 \cdot 1,09 \cdot 0,96 \cdot 50 \cdot 168 \cong 32; \\ \omega_{\epsilon 2} &= 4.\end{aligned}$$

24. Максимальний струм в фазі вторинної обмотки, перетин фази, опір фази, падіння напруги і втрата потужності:

$$\begin{aligned}I_{\phi 1} &= 100 \cdot 10^3 / 3 \cdot 98 = 340 \text{ А}; \\ q_{\phi} &= I_{\phi 2} / j_2 = 73,2 \text{ мм}^2.\end{aligned}$$

(п'ять паралельних проводів перетином, два дроти по ширині паза і 10 по глибині)

$$l_{\text{в}2} = 2(11 + 10,2 + 2 \cdot 18) = 49,6 \text{ см.}$$

25. Глибина пазів:

$$h_{\text{п}2} = [10(1,4 + 0,1 + 0,2) + 1] \cdot 1,28 = 23 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт 1,28 враховує додаткову глибину пазів, необхідну для розміщення обмотки підмагнічування ярма і трифазної обмотки ω_3 , призначеної для живлення через випрямляч обмотки підмагнічування шунта.

$$R_{\phi 2} = \omega_{\phi 2} l_{\text{в}2} \cdot \frac{1,32}{57 q_{\phi 2}} = 32 \cdot 0,496 \cdot \frac{1,32}{57} \cdot 73,2 = 0,005 \text{ Ом};$$

$$I_{\phi 1} R_{\phi 1} = 1,7 \text{ В};$$

$$\Delta P_{\text{м}2} = 3 I_{\phi 2}^2 R_{\phi 2} = 3 \cdot 340^2 \cdot 0,005 = 1730 \text{ Вт.}$$

26. Напруга, струм і розрахункова потужність трифазної обмотки, призначеної для живлення обмотки підмагнічування шунта, при з'єднанні її фаз в трикутник:

$$U_{\text{ф3}} = \frac{U_{\text{о.п.}}}{k_{\text{в}}} = \frac{75}{1,28} = 58,5 \text{ В};$$

$$S_3 = \frac{\Delta P_{\text{о.п.}}}{\eta_{\text{в}} \cos \phi_{\text{в}}} = \frac{4275}{0,98} \cdot 0,98 = 4450 \text{ ВА};$$

$$I_{\text{ф3}} = 4450/3 \cdot 58,5 = 25,4 \text{ А}.$$

Перетин фази:

$$q_{\text{ф3}} = 25,4/5 = 5,085; 5,3 \times 1,0 \text{ мм}.$$

27. Число витків в фазі:

$$\omega_{\text{ф3}} = 1,1 U_{\text{ф3}} 4 k_{\text{ф}} k_{\text{об3}} f \cdot 0,96 \Phi_{\text{я1}} =$$

$$= 1,1 \cdot 58,5 \cdot 10^{-4} / 4 \cdot 1,09 \cdot 0,96 \cdot 50 \cdot 0,96 \cdot 50 \cdot 0,96 \cdot 168 = 20.$$

число витків в секції:

$$\omega_{\text{с3}} = 2,5.$$

28. Активний опір фази:

$$R_{\text{ф3}} = \omega_{\text{ф3}} l_{\text{ср}} \cdot 1,32/57 q_{\text{ф3}} = 20 \cdot 0,54 \cdot 1,32/57 \cdot 5,085 = 0,049 \text{ Ом};$$

$$I_{\text{ф3}} R_{\text{ф3}} = 25,4 \cdot 0,049 = 1,25 \text{ В}.$$

29. Втрата потужності в обмотці:

$$\Delta P_3 = 3 \cdot 1,25 \cdot 25,4 = 95 \text{ Вт}.$$

30. Максимальна НС обмотки підмагнічування ярма:

$$F_{o.п.яmax} \cong 0,07;$$

$$F_{o.п.яmax} = 4600 \text{ A.}$$

При $I_{o.п.я} = 12 \text{ A}$, $q_{o.п.} = 2,543 \text{ мм}^2$, $\omega_c = 16$; $\omega_{o.п.я} = 384$:

$$R_{o.п.} = 384 \cdot 0,56 \cdot 1,32 / 57 \cdot 2,543 = 1,96 \text{ Ом};$$

$$U_{o.п.я} = 12 \cdot 1,96 = 23,5 \text{ В};$$

$$\Delta P_{o.п.яmax} = 12^2 \cdot 1,96 = 282 \text{ Вт.}$$

31. Лінійна (і фазна) напруга трифазної обмотки ω_4 , розташованої в пазах магнітного шунта і призначеної для живлення обмотки підмагнічування ярма

$$U_{\phi 4\Delta} = U_B / k_B \cong 20 \text{ В.}$$

Число витків в фазі цієї обмотки:

$$\omega_{\phi 4} = 1,1 U_{\phi 4} / 4 k_{\phi} k_{o63} f \cdot 0,96 \Phi_{я1} =$$

$$= 1,2 \cdot 20 \cdot 10^{-4} / 4 \cdot 1,09 \cdot 0,96 \cdot 50 \cdot 0,96 \cdot 50 \cdot 0,96 \cdot 168 \cong 8;$$

$$\omega_{c4} = 1.$$

$$I_{\phi 4} = \Delta P_{o.п.я} / \eta_B \cos \phi_B \cdot 3 U_{\phi 4} = 2,82 / 0,95 \cdot 0,98 \cdot 3 \cdot 20 = 5,05 \text{ A};$$

$$q_{\phi 4} = 5,05 / j_4 = 1,094 \text{ мм}^2;$$

$$R_{\phi 4} = 8 \cdot 0,56 \cdot 1,32 / 57 \cdot 1,094 = 0,095 \text{ Ом};$$

$$I_{\phi 4} R_{\phi 4} = 0,48 \text{ В};$$

$$\Delta P_{\phi 4} = 3 I_{\phi 4}^2 R_{\phi 4} = 7,2 \text{ Вт.}$$

32. Маса сталі магнітопроводу:

$$M_{ст} = 0,785 (D_H^2 - D_B^2) \cdot 0,93 [3l_{я} + (2h_{31} + h_{32} + h_{3.ш}) / 2] \gamma_{ст} 10^{-3} =$$

$$= 0,785 (46^2 - 24^2) \cdot 0,93 [30,6 + (2 \cdot 2,3 + 2,3 + 3,2) / 2] 7,65 \cdot 10^{-3} = 312 \text{ кг.}$$

33. Маса (кг) обмотувальної міді:

$$M_{M1} = 2\omega_{c1}q_{\phi1}l_{B1}\gamma_M \cdot 10^{-3} = 24 \cdot 7 \cdot 0,492 \cdot 51,6 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 38;$$

$$M_{M2} = 24 \cdot 4 \cdot 0,732 \cdot 49,6 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 31;$$

$$M_{M.o.l.ш} = 24 \cdot 48 \cdot 0,1115 \cdot 55 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 62;$$

$$M_{O.l.я} = 24 \cdot 16 \cdot 0,2543 \cdot 56 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 4,8;$$

$$M_{M3} = 24 \cdot 2,5 \cdot 0,05085 \cdot 54 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 1,47;$$

$$M_{M4} = 2 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 0,01094 \cdot 56 \cdot 8,9 \cdot 10^{-3} = 0,13;$$

$$\sum M_M = 137,4.$$

34. Загальна маса активних металів:

$$\sum M_{акт} = 449,4 \text{ кг}.$$

35. Втрата потужності в холоднокатній сталі магнітопроводу:

$$B_s = B_y = 1,6 \text{ Тл};$$

$$\Delta P_{ст.осн} = p_{1/50} (f/50)^B K_q B^2 M_{ст} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot 1,6^2 \cdot 208 = 680 \text{ Вт}.$$

З урахуванням додаткових втрат:

$$\Delta P_{ст} \cong 900 \text{ Вт}.$$

36. При розрахунку ККД трансформатора в режимі номінальної (максимальної) навантаження при $F_{o.l.шmax}$ втратами в обмотці підмагнічування вторинного ярма $\Delta P_{o.l.я}$, а також в живильній її трифазній обмотці ΔP_{M4} можна знехтувати, так як в цьому режимі ці обмотки практично знеструмлені.

37. При $F_{o.п.шmax}$ загальні втрати в трансформаторі:

$$\sum \Delta P = \Delta P_{M1} + \Delta P_{M2} + \Delta P_{o.п.} + \Delta P_{M3} + \Delta P_{ст} = 1600 + 1730 + 4275 + 95 + 900 = 8600 \text{ Вт.}$$

38. Номінальний ККД:

$$\eta_H = S_{2H} \cos \phi_2 / (S_2 \cos \phi_2 + \sum \Delta P) = 100 / (100 + 8,6) = 0,92.$$

ВИСНОВКИ

У даному дипломному проєкті розглянуті методи пуску і регулювання швидкості обертання асинхронних двигунів. Основними характеристиками пуску асинхронного двигуна є пусковий момент і величина пускового струму. Пусковий момент повинен перевищувати зовнішній, а пускові струми не повинні перевищувати допустимих значень.

У розділі 1 наведені різні методи пуску, починаючи з прямого пуску, пуску при зниженій напрузі, реакторного, автотрансформаторного, перемиканням «зірка-трикутник», та пуску асинхронного двигуна з фазним ротором і зниженими радіальними розмірами.

У розділі 2 описана конструкція пропонованого асинхронного двигуна з торцевим ротором і рознесеними статорами.

За рахунок виконання магнітопроводів статора та ротора витими з розміщенням на статорах двох обмоток, що з'єднані за схемами «зірка» і «трикутник», а також розміщенням в пазах ротора короткозамкнених обмоток з різними питомими опорами і застосуванням магнітного шунта з обмоткою підмагнічування, значно знизити пускові струми при підвищенні електромагнітного моменту і забезпечити можливість регулювання швидкості асинхронного двигуна в широкому діапазоні.

У розділі 3 представлені розрахунки основних електромагнітних параметрів запропонованого асинхронного двигуна.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брускин Д.Э. Электрические машины и микромашины: учебник для электротехнических специальностей вузов / Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1990. – 528 с.
2. Яцун М.А. Електричні машини: – Львів, Львівська політехніка, 2004 – 440 с.
3. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1974. – 840 с.
4. Кацман М.М. Электрические машины. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 463 с.
5. Проектирование электрических машин / Под ред. Копылова И. П. – М: Энергия, 1980. – 485 с.
6. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины ; учебник для вузов, В двух томах. Том 1 / А.В. Иванов-Смоленский – 3-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 652 с.
7. Тихонов В.В., Чиримпей Є.І. Заява на патент.
8. Тихонов В.В., Мазур Т.А., Пікуль М.О. Заява на патент.
9. Красношапка М.М. Плавнорегулируемые трансформаторы, асинхронные и бесконтактные синхронные машины / М.М. Красношапка, Г.А. Коваленко, Д.М. Красношапка. – М. : Радио и связь, 1992. – 184 с.
10. Красношапка М.М. Бесконтактный генератор с регулируемым асинхронным возбудителем / Регулируемые асинхронные двигатели: Сб. науч. Тр. / М.М. Красношапка, Д.Е. Никифоров – Киев, 1988. – С. 64-70.