

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ім. адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра Суднових електроенергетичних систем

«Допущений до захисту»

в.о. зав. кафедри СЕЕС

 Обрубов А.В.

«___» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему РОЗРОБКА ОДНОФАЗНОГО
АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Виконав: здобувач вищої освіти
IV курсу, групи 4367стЗ
спеціальності 141 – Електроенергетика,
(шифр і назва спеціальності)

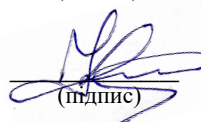
електротехніка та електромеханіка
освітньої програми Електромеханіка та
(назва ОП)

електроенергетика

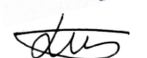
Сербул І.О.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Керівник Кімстач О.Ю.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент Білюк І.С.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Миколаїв – 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра Суднових електроенергетичних систем

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми Електромеханіка та електроенергетика
(назва ОП)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Волянська Я.Б.

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ **на кваліфікаційну роботу** **на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»**

Здобувачу вищої освіти Сербулу Ігорю Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка однофазного асинхронного двигуна

Керівник роботи Кімстач Олег Юрійович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом НУК від «22» квітня 2026 р. №286-УЧ

2. Термін подання роботи «10» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Розробити однофазний АД для систем
автоматики. Вихідні дані: напруга живлення 220 В, кількість пар полюсів 2,
номінальна корисна потужність 250 Вт.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)
Опис конструктивного виконання однофазного АД та його переваги; синтез
АД; розрахунок його характеристик; розгляд питань охорони праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів

1. Конструктивна схема однофазного АД; 2. Схема статорної обмотки;
3, 4. Характеристики АД.

6. Дата видачі завдання «17» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

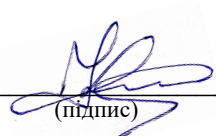
№ з/П	Назва етапу роботи	Строк виконання	Примітка
1.	Виконання опису конструктивного виконання однофазних АД та їх переваг.	15.03.2026	Виконано
2.	Синтез однофазного АД.	01.04.2026	Виконано
3.	Розрахунок характеристик однофазного АД.	15.04.2026	Виконано
4.	Виконання розділу з охорони праці.	01.05.2026	Виконано
5.	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки.	15.05.2026	Виконано
6.	Оформлення графічної частини.	10.06.2026	Виконано

Здобувач вищої освіти


(підпис)

Сербул І.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник


(підпис)

Кімстач О.Ю.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській роботі виконано розробку однофазного асинхронного двигуна для систем автоматики.

Виконано опис конструктивних схем і принципу дії асинхронних двигунів для систем автоматики.

Проектна частина містить: розрахунок однофазного асинхронного двигуна для систем автоматики, вибір апарату захисту та конденсаторів, а також розрахунок статичних і динамічних характеристик двигуна.

Крім того виконано розгляд питань охорони праці.

Ключові слова: апарат захисту, асинхронний двигун, обмотка, пуск, характеристика.

SUMMARY

In the bachelor's thesis, the development of a single-phase induction motor for automation systems was carried out.

A description of the construction and the action of induction motors for automation systems was carried out.

The design part includes: calculation of a single-phase induction motor for automation systems, selection of a protection device and capacitors, as well as calculation of static and dynamic characteristics of the motor.

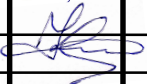
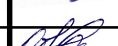
In addition, the labour protection issues were considered.

Keywords: protection device, induction motor, winding, start, characteristic.

					141.4367ст3. БР. ПЗ.	Лист
Змін.	Лист.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНІ СХЕМИ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ОДНОФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ	9
1.1. Принцип дії і основні особливості однофазних АД	10
1.2. Конструкції асинхронних виконавчих двигунів	12
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТА ВИБІР АПАРАТУ ЗАХИСТУ	16
2.1. Обґрунтування конструктивної схеми	17
2.2. Розрахунок однофазного асинхронного двигуна	19
2.3. Вибір запобіжників	32
2.4. Розрахунок та вибір конденсаторів обмотки керування	33
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	34
3.1. Розрахунок електромеханічних характеристик	35
3.2. Розрахунок робочих характеристик	36
3.3. Розрахунок динамічних характеристик	38
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	42
Вступ	43
4.1. Аналіз небезпечних факторів, що впливають на людину у процесі зборки та експлуатації електричних машин	45
4.2. Безпека виробничого устаткування	48
4.3. Безпека виробничих процесів	49
ВИСНОВКИ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	54
ДОДАТОК. Розрахунок динамічних характеристик	56

					141. 4367см3. БР. ПЗ. В.		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розроб.	Сербул І.О.						
Керівник	Кімстач О.Ю.						
Н. контр.							
В.о. зав. каф.	Обрубов А.В.						
					Лім.		
					Лист		
					Листів		
						6	3
					НУК		

ВСТУП

До машин, що застосовуються в автоматичних пристроях, у першу чергу відносяться асинхронні виконавчі двигуни. Ці двигуни повинні забезпечувати високий діапазон зміни частоти обертання при лінійних механічних і регульовальних характеристиках. Виконавчі двигуни повинні мати високу швидкість, великий пусковий момент, малу потужність керування, малий момент тертя, а також не мати самоходу при зменшенні напруги керування до нуля.

Цим суперечливим вимогам в основному задовольняють двофазні асинхронні двигуни з порожнім ротором і двигуни з короткозамкненою обмоткою ротора з підвищеним активним опором, які живляться від однофазної електромережі.

Виконавчі асинхронні двигуни на сотні ватів виконуються із шихтованим ротором, а короткозамкнена обмотка заливається сплавами алюмінію з підвищеним опором або зварюється з латуні або бронзи. Використовуються також двигуни з масивним ротором, які мають гірші енергетичні й масогабаритні показники в порівнянні із двигунами із шихтованим ротором. Двигуни з масивним ротором застосовуються у високошвидкісних приводах, у яких двигуни з короткозамкненою обмоткою через недостатню механічну міцність застосовуватися не можуть.

В асинхронних виконавчих двигунах основною проблемою є відвід тепла, яке виділяється в машині при глибокому регулюванні частоти обертання. Для кращого охолодження виконавчих двигунів застосовуються вентилятори-наїзники, частота обертання яких не залежить від частоти обертання виконавчого двигуна, використовується також охолодження водою й внутрішнє випарне охолодження. У виконавчих мікродвигунах інтенсивний відвід тепла здійснюється також шляхом збільшення поверхні охолодження.

Для плавного регулювання частоти обертання асинхронних виконавчих двигунів застосовуються два способи: частотний (зміна частоти напруги) і зміною напруги (зміна ковзання за рахунок амплітуди й фази живлячої напру-

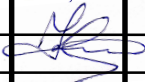
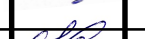
					141. 4367ст3. БР. ПЗ. В.	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		7

ги). Найбільше поширення одержав другий спосіб, тому що перетворювачі частоти, незважаючи на застосування силових напівпровідникових елементів, залишаються громіздкими та дорогими. При регулюванні частоти обертання виконавчих двигунів шляхом зміни напруги застосовують три способи керування: амплітудне, фазне й амплітудно-фазне. При амплітудному регулюванні змінюється амплітуда напруги, при фазному – фаза напруги, а при амплітудно-фазному змінюються амплітуда і фаза напруги.

При зміні амплітуди або фази живлячої напруги змінюється форма поля в повітряному зазорі через зміну амплітуд прямого й зворотного полів. У такий спосіб за рахунок зміни ступені еліптичності поля в повітряному зазорі здійснюється регулювання частоти обертання.

У системах автоматичного керування потужністю до 1 кВт звичайно застосовуються двофазні двигуни, коли одна обмотка (обмотка збудження) підключена до мережі, а обмотка керування живиться через регулятор напруги. У виконавчих двигунах потужністю більше 1 кВт використовуються трифазні двигуни, коли кожна фаза обмотки через регулятор напруги підключається до мережі.

Останнім часом у якості керуючих елементів застосовуються регулятори напруги на тиристорах і транзисторах, знаходять також застосування схеми на магнітних підсилювачах. Слід зазначити, що керуючі елементи мають більші габарити, тому що вони розраховуються на повну або на частину потужності системи. Габарити й вартість керуючих елементів зростають у реверсивних системах, коли необхідно змінювати напрям обертання й регулювати частоту обертання в широких межах.

					141. 4367см3. БР. ПЗ. Р1									
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	КОНСТРУКТИВНІ СХЕМИ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ОДНОФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ					Лім.	Лист	Листів		
Розроб.		Сербул І.О.										9	7	
Керівник		Кімстач О.Ю.								НУК				
														
Н. контр.														
В.о. зав. каф.		Обрубов А.В.												

РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНІ СХЕМИ ТА ПРИНЦИП ДІЇ ОДНОФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

1.1. Принцип дії і основні особливості однофазних АД

При живленні однофазної обмотки статора змінним струмом виникає пульсуюче магнітне поле, яке можна представити двома круговими полями $\Phi_{\text{пр}}$ і $\Phi_{\text{об}}$, що обертаються в різні сторони (рис. 1.1, а). Кожне із цих полів індукує в обмотці ротора ЕРС і струми. Струми ротора, взаємодіючи з відповідним полем статора, створюють обертаючі моменти (M_1 і M_2). При нерухливому роторі ці моменти зовсім однакові, тому результуючий момент двигуна дорівнює 0.

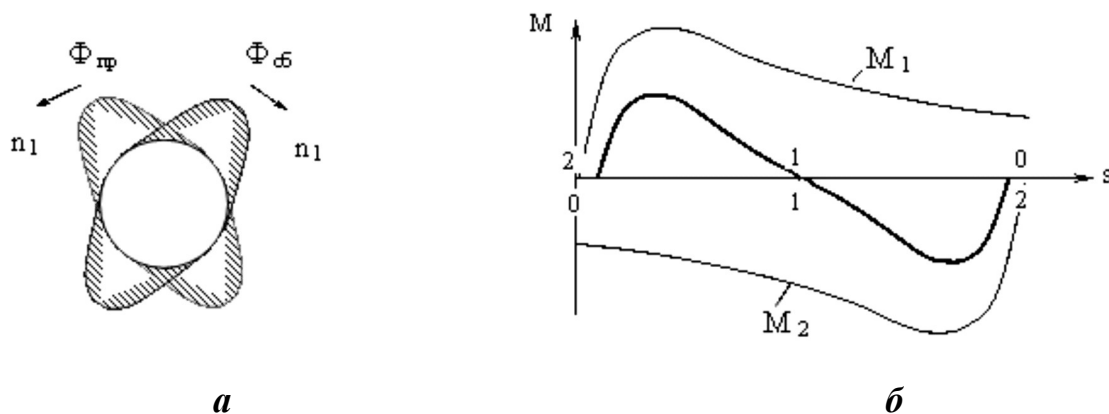


Рис. 1.1. Розкладення пульсуючого поля (а) і механічна характеристики однофазного АД (б).

Механічну характеристику однофазного двигуна можна одержати додаванням обертаючих моментів прямого (M_1) і зворотного (M_2) полів (рис. 1.1,б). Аналіз цієї характеристики дозволяє зробити наступні висновки:

- однофазний двигун не має власного пускового моменту. У цьому його характерна риса і головний недолік;
- двигун не має певного напрямку обертання. Він залежить від первинного поштовху;
- для однофазного двигуна не можливий режим електромагнітного гальма (при $s_{\text{кр}} < 1$);
- при тому самому навантажувальному моменті, що і у симетричного

трифазного або двофазного двигуна, однофазний буде мати більше ковзання, отже, більші втрати в роторі і менший ККД.

- перевантажувальна здатність однофазного двигуна залежить від активного опору ротора. В останньому легко переконатися, розглядаючи рис. 1.2, де наведені механічні характеристики двох двигунів з $s_{кр} = 0,25$ (а) і $s_{кр} = 0,5$ (б).

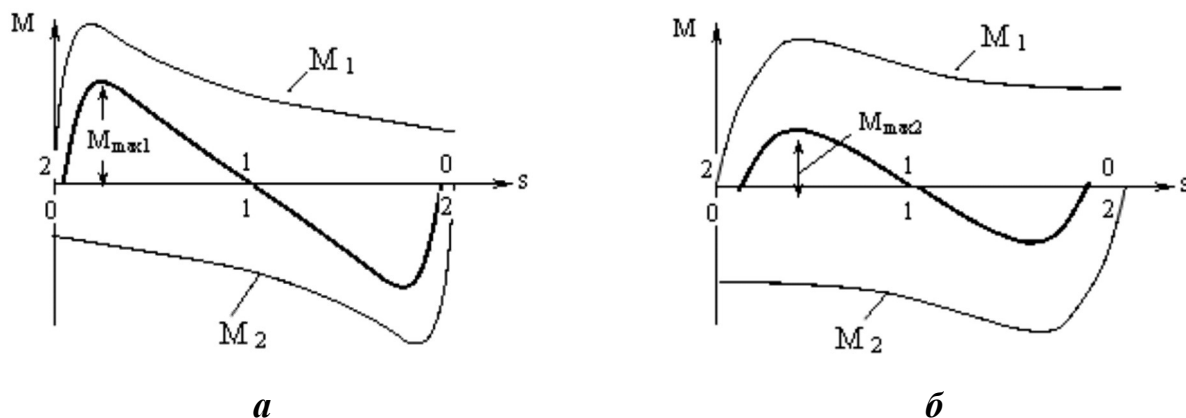


Рис. 1.2. Залежність максимального моменту однофазного асинхронного двигуна від активного опору ротора.

Отже, при пуску однофазного двигуна ($s = 1$) у ньому виникає пульсуюче магнітне поле. Але якщо привести його в обертання, поле стане еліптичним. Пояснюється це в такий спосіб.

При роботі двигуна з невеликим ковзанням, наприклад $s = 0,1$, частота струму в роторі від прямого поля статора близька до нуля (при $f_1 = 50$ Гц $f_{p.1} = f_1 \cdot s = 5$ Гц), а частота струму від зворотного поля – близька до подвійної частоти мережі ($f_{p.2} = f_1 \cdot (2 - s) = 95$ Гц).

Оскільки індуктивний опір обмотки ротора пропорційний частоті, струм ротора ($I_{p.2}$) відстає від ЕРС ($E_{p.2}$), індукованої в ньому зворотним полем статора ($\Phi_{c.2}$), на кут близький до 90° ($\text{tg} \psi_{p.2} = x_{p.2}/r_p$). Магнітний потік $\Phi_{p.2}$, створений струмом $I_{p.2}$, перебуває майже у протифазі до зворотного поля статора $\Phi_{c.2}$ і значною мірою його послабляє (рис. 1.3).

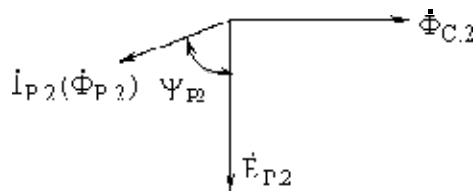


Рис. 1.3. Векторна діаграма ЕРС та магнітних потоків ротора

Виходить, що у двигуні має місце пряме поле і невелике зворотне поле. Вони разом утворюють одне результуюче поле – еліптичне.

При роботі двигуна в режимі холостого ходу, коли ковзання близько до нуля ($s \approx 0$), що демпфірує дію зворотного потоку ротора $\Phi_{P.2}$, це виявляється на стільки сильним, що зворотне поле статора $\Phi_{C.2}$ практично пропадає і результуюче поле стає майже круговим.

Струм однофазного двигуна

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} = \frac{2\dot{U}_A}{Z_{A1} + Z_{A2}} = \frac{\dot{U}_A}{\frac{Z_{A1}}{2} + \frac{Z_{A2}}{2}}.$$

Знаменник вираження є вхідним опором однофазного двигуна. Його можна представити (індекс А опущений) як

$$Z_{\text{вх}} = Z_1 / 2 + Z_2 / 2 = (Z_c / 2 + Z_{\text{мп1}} / 2) + (Z_c / 2 + Z_{\text{мп2}} / 2) = Z_c + Z_{\text{мп1}} / 2 + Z_{\text{мп2}} / 2.$$

де: Z_c – повний опір обмотки статора; $Z_{\text{мп1}}$, $Z_{\text{мп2}}$ – повні опори контурів намагнічування і ротора струмам прямій і зворотної послідовностей (рис. 1.4).

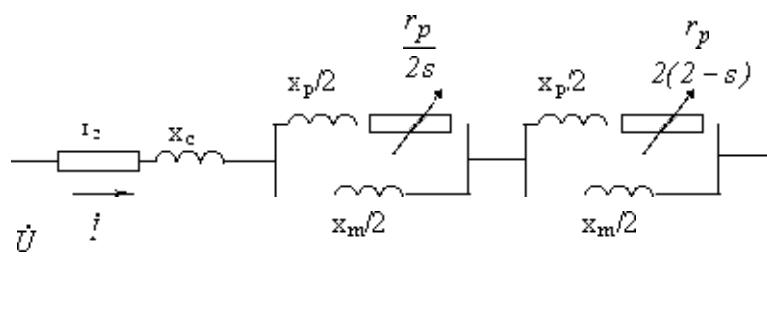


Рис. 1.4. Заступна схема однофазного АД.

1.2. Конструкції асинхронних виконавчих двигунів

Двигуни з порожнім немагнітним ротором є найпоширенішими виконавчими однофазними асинхронними двигунами. Основна їх перевага – мала

інерційність, забезпечується особливою конструкцією ротора.

Порожній немагнітний ротор виконується у вигляді тонкостінної алюмінієвої склянки й не має сердечника. Така конструкція має малий момент інерції й забезпечує двигуну досить важлива властивість — швидкодія.

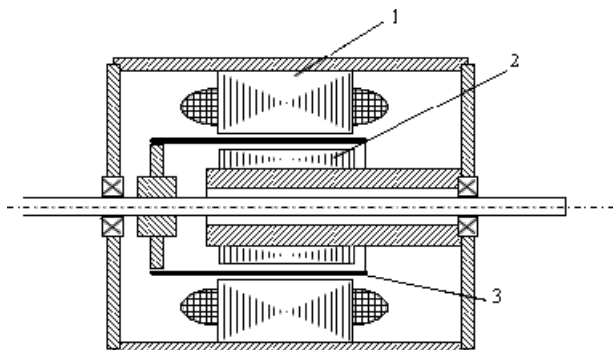


Рис. 1.5. Виконавчий асинхронний двигун з порожнім ротором:

1 – статор; 2 – нерухливий магнітопровід ротора.

Двигуни з порожнім немагнітним ротором випускають потужністю від часток до сотень ватів як на промислову частоту 50 Гц. так і на підвищені частоти – 400, 500, 800 і 1000 Гц.

Конструкція двигуна з порожнім немагнітним ротором представлена на рис. 1.5. Принцип дії цього двигуна полягає в наступному: змінний струм, проходячи по обмоткам зовнішнього статора 1 створює обертове (у загальному випадку еліптичне) магнітне поле, яке проходить через повітряний зазор і замикається в сердечнику внутрішнього статора 2. При цьому обертове поле перетинає стінки порожнього немагнітного (алюмінієвого) ротора 2 і індукують у ньому вихрові струми. У результаті взаємодії цих струмів з обертовим магнітним полем статора виникає обертаючий електромагнітний момент, який, діючи на ротор, захоплює його у бік обертання поля. Зовнішній статор 1 не відрізняється від статора асинхронного двигуна звичайної конструкції: його сердечник набирається з ізольованих друг від друга аркушів електротехнічної сталі; у пазах цього сердечника розташовуються обмотки керування й збудження, осі яких зрушені в просторі на 90 ел. град.

Внутрішній статор 2 (див. рис. 1.5) набирається із аркушів електротехні-

чної сталі на циліндричному виступі одного з підшипникових щитів. Цей статор призначений для зменшення магнітного опору основному (робочому) магнітному потоку.

Порожній ротор двигуна виконується у вигляді тонкостінної склянки з немагнітного матеріалу – найчастіше зі сплавів алюмінію. Ротор жорстко укріплений на валу, який вільно обертається в підшипниках. Товщина стінок ротора залежить від потужності двигуна й становить від 0,2 до 1 мм. Зменшення товщини стінок обмежене технологічною складністю виготовлення тонкостінної склянки ротора.

Між стінками ротора й зовнішнім і внутрішнім статорами є повітряні зазори, розміри яких звичайно не перевищують 0,25 мм. У двигунах потужністю менш 1,5 Вт обмотки збудження й керування часто розміщуються у пазах внутрішнього статора. При цьому зовнішній статор не має пазів і служить лише для зменшення магнітного опору. Така конструкція значно полегшує процес укладання обмоток у пази, що особливо важливо при малих діаметрах розточення статора, і сприяє деякому підвищенню електромагнітного моменту. При цьому для збільшення обмотувального простору на внутрішньому статорі доводиться трохи збільшувати діаметр ротора, що призводить до деякого зростання моменту інерції ротора. Для часткового зменшення цього недоліку іноді одну з обмоток розміщають на внутрішньому, а іншу – на зовнішньому статорі.

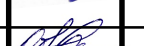
Характерна риса двигуна з порожнім немагнітним ротором – великий немагнітний проміжок на шляху магнітного потоку. Цей проміжок складається із двох повітряних зазорів (між зовнішнім статором і ротором: між ротором і внутрішнім статором) і товщини стінки немагнітної склянки ротора. Таким чином, загальна величина немагнітного проміжку між зовнішнім і внутрішнім статорами може скласти від 0,4 до 1,5 мм.

Внаслідок великого немагнітного зазору двигуни з порожнім немагнітним ротором мають великий струм намагнічування (0,8...0,9 від номінального

значення струму статора) і, отже, низький коефіцієнт потужності. Останній недолік у двигунів з конденсаторним зрушенням фаз практично мало відчувається, але більша величина струму намагнічування завжди призводить до більших електричних втрат в обмотках двигуна й значно знижує його ККД.

На відміну від усіх типів роторів, що застосовуються у виконавчих асинхронних двигунах, порожній немагнітний ротор при великому активному опорі має досить незначний індуктивний опір. Ця властивість ротора сприяє наближенню механічних і регулювальних характеристик двигунів до прямолінійних.

					141. 4367ст3. БР. ПЗ. Р1	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

					141. 4367см3. БР. ПЗ. Р2		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Сербул І.О.			РОЗРАХУНОК ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТА ВИБІР АПАРАТУ ЗАХИСТУ	Лім.	Лист
Керівник		Кімстач О.Ю.					16
						НУК	
Н. контр.							
В.о. зав. каф.		Обрубов А.В.					

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТА ВИБІР АПАРАТУ ЗАХИСТУ

2.1. Обґрунтування конструктивної схеми

Конструкція однофазного асинхронного двигуна (ОАД) наведена на рис. 2.1. Він має клемну коробку: для вивідних кінців статорної обмотки. Пази статора виконуються трапецієподібними. Для поліпшення охолодження у підшипникових кришках маються чотири вентиляційних отвори.

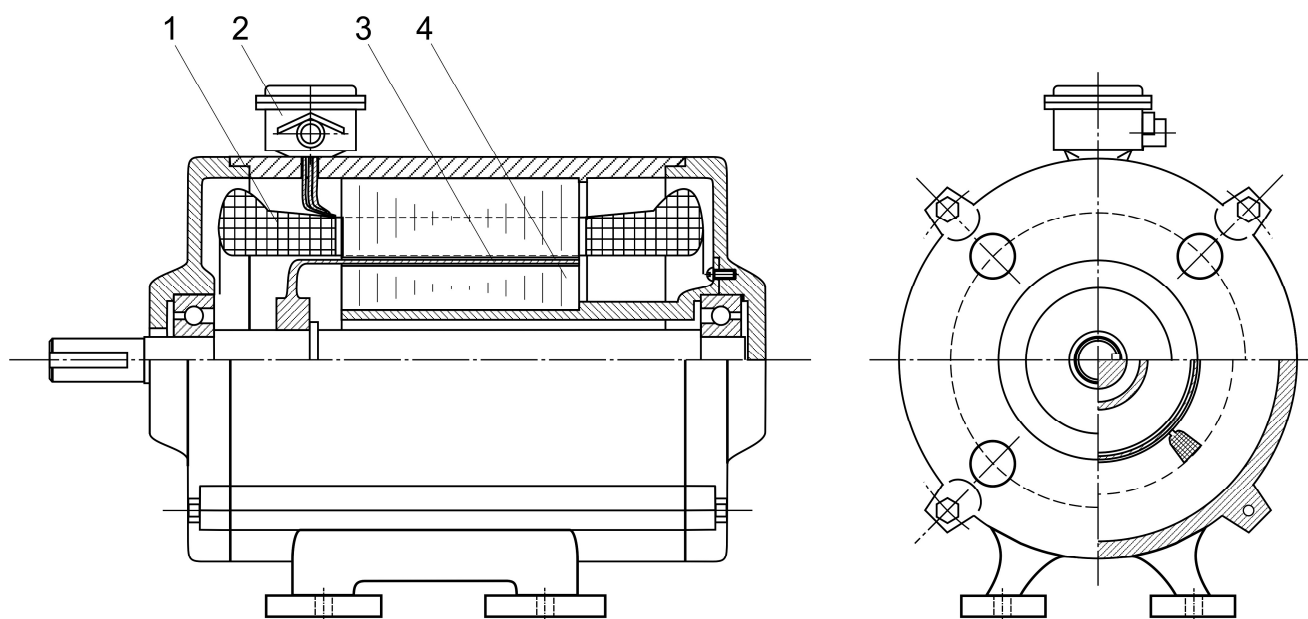


Рис. 2.1. Конструкція однофазного асинхронного двигуна:

*1 – статорна обмотка; 2 – клемна коробка;
3 – роторна обмотка; 4 – внутрішній магнітопровід.*

Статорна обмотка ОАД виконується двофазною і на неї подається система напруг, яка створює систему струмів, що у свою чергу створює обертове магнітне поле. Воно перетинає обмотку ротору у вигляді алюмінієвого стакану і наводить у неї систему напруг, що наводить струми у роторі, які у результаті взаємодії з полем статора утворюють обертовий момент.

Найкращі енергетичні показники будуть при зміщенні векторів струмів у обмотках на 90° . Для цього у коло однієї з обмоток включається конденсатор, якій забезпечує необхідний зсув векторів (рис. 2.2).

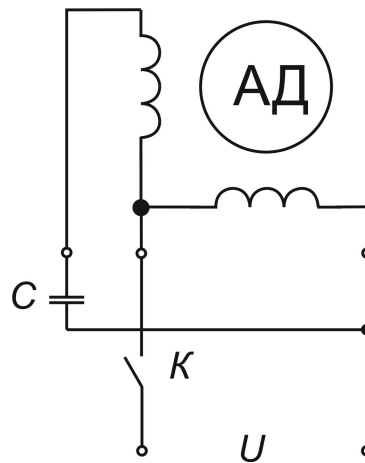


Рис. 2.2. Електрична схема вмикання двигуна

Напруги збудження та керування відповідають однієї з напруг трифазної мережі на судні. Конденсатор вибирається таким чином, щоб мав місце лише зсув вектора струму у однієї з обмоток на кут приблизно у 45 градусів, а амплітуда повинна залишатися незмінною, у противному випадку буде мати місце не кругове магнітне поле (рис. 2.3). Це досягається при наближенні до рівноваги активного та індуктивного опорів обмоток статора.

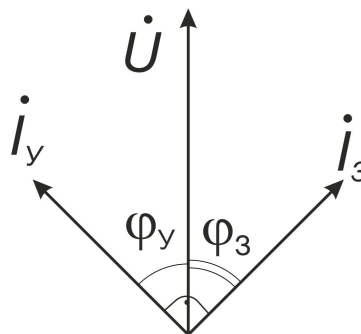


Рис. 2.3. Векторна діаграма асинхронного двигуна.

При виконанні керування будь-яким шляхом кругове поле порушується і виникає еліптичне поле. Таким чином, режим кругового поля повинен бути розрахований для більш застосовуваного режиму роботи ОАД.

Захист ОАД виконується за рахунок двох запобіжників.

2.2. Розрахунок однофазного асинхронного двигуна

Вихідні дані

Номинальна потужність $P_{2H} = 250$ Вт .

Частота живлячої мережі $f = 50$ Гц .

Фазна напруга мережі $U_1 = 220$ В .

Число пар полюсів $p = 2$.

Число фаз $m_1 = 2$.

Вибір головних розмірів

Висота осі обертання

$$h = 63 \text{ мм} .$$

Зовнішній діаметр статора

$$D_{1n} = 108 \text{ мм} .$$

Внутрішній діаметр сердечника статора

$$D'_1 = 0.63 \cdot D_{1n} = 0.63 \cdot 108 = 68.04 \text{ мм} .$$

Приймається $D_1 = 68$ мм .

Розрахункові значення:

- коефіцієнта потужності

$$\cos \phi_1 = 0.48 .$$

- ККД

$$\eta = 0.58 .$$

Обмотковий коефіцієнт статора

$$k_{ob1} = 0.95 .$$

Коефіцієнт ЕРС

$$k_e = 0.87 .$$

Синхронна частота обертання полю статора

$$n_1 = f \cdot \frac{60}{p} = 50 \cdot \frac{60}{2} = 1.5 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{хв}} .$$

Розрахунковий момент на валу

$$M' = \frac{P_{2H} \cdot p}{\pi \cdot f} = \frac{250 \cdot 2}{\pi \cdot 50} = 3.18 \text{ Нм} .$$

Розміри вала (рис. 2.4):

$$l_1 = 40 \text{ мм} .$$

$$d_1 = 16 \text{ мм} .$$

$$d_2 = 17 \text{ мм} .$$

$$d_3 = 22 \text{ мм} .$$

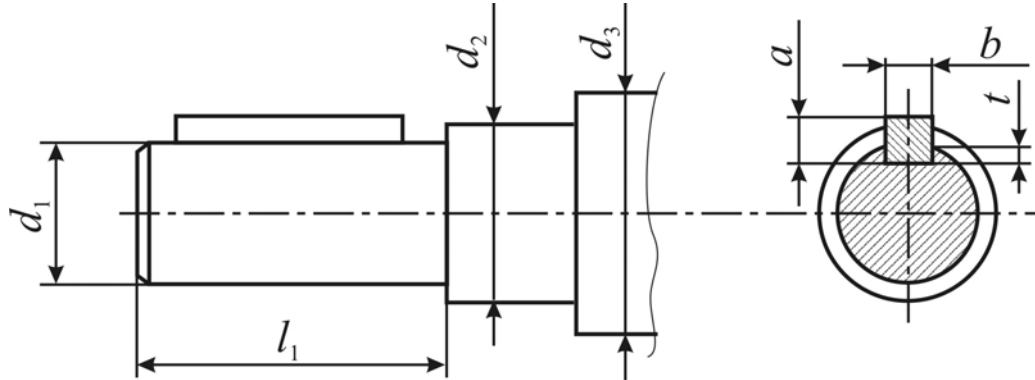


Рис. 2.4. Вал двигуна

Внутрішній діаметр магнітопровода ротора

$$D_{2B} = d_3 = 22 \text{ мм} .$$

Розрахункова потужність

$$P' = \frac{k_e \cdot P_{2H}}{\eta \cdot \cos \phi_1} = \frac{0.87 \cdot 250}{0.58 \cdot 0.48} = 781 \text{ ВА} .$$

Виходячи з висоти обертання вибирається форма паза і тип обмотки:

форма паза - трапецеїдальна полузакрита;

тип обмотки - одношарова всипна;

клас нагрівостійкості - F.

Лінійне навантаження

$$A'_1 = 250 \frac{\text{А}}{\text{см}} .$$

Індукція у повітряному зазорі

$$B'_\delta = 0.5 \text{ Тл} .$$

Довжина активної частини

$$l'_\delta = \frac{8.62 \cdot 10^7 \cdot P'}{D_1^2 \cdot n_1 \cdot A'_1 \cdot B'_\delta \cdot k_{ob1}} = \frac{8.62 \cdot 10^7 \cdot 781}{68^2 \cdot 1.5 \times 10^3 \cdot 250 \cdot 0.5 \cdot 0.95} = 81.74 \text{ мм} .$$

Приймається $l_\delta = 81 \text{ мм} .$

Магнітопровід статора

Виходячи із значення висоти осі обертання вибирається марка стали 2013, для неї використовується ізолювання листів оксидуванням, а коефіцієнт заповнення $k_c = 0.97$.

Кількість зубців статора

$$z_1 = 32.$$

Кількість пазів на полюс і фазу статора

$$q_1 = \frac{z_1}{2 \cdot p \cdot m_1} = \frac{32}{2 \cdot 2 \cdot 2} = 4.$$

Товщина стакану

$$\delta_r = 0.9 \text{ мм}.$$

Повітряний зазор

$$\delta_{\Pi} = 0.2 \text{ мм}.$$

Загальний робочий зазор

$$\delta = \delta_r + 2\delta_{\Pi} = 0.9 + 2 \cdot 0.2 = 1.3 \text{ мм}.$$

Магнітопровід ротора

Діаметр магнітопроводу ротора

$$D_2 = D_1 - 2\delta = 68 - 2 \cdot 1.3 = 65.4 \text{ мм}.$$

Обмотка статора

Магнітний потік

$$\Phi = \frac{B'_{\delta} \cdot D_1 \cdot l_{\delta} \cdot 10^{-6}}{p} = \frac{0.5 \cdot 68 \cdot 81 \cdot 10^{-6}}{2} = 1.38 \times 10^{-3} \text{ Вб}.$$

Кількість паралельних гілок обмотки статора

$$a_1 = 2.$$

Попереднє значення кількості витків обмотки статора

$$w'_1 = \frac{U_1 \cdot k_e}{4.44 \cdot f \cdot k_{ob1} \cdot \Phi} = \frac{220 \cdot 0.87}{4.44 \cdot 50 \cdot 0.95 \cdot 1.38 \times 10^{-3}} = 658.$$

Кількість ефективних провідників обмотки статора в пазу

$$u'_1 = \frac{a_1 \cdot w'_1}{p \cdot q_1} = \frac{2 \cdot 658}{2 \cdot 4} = 164.5.$$

Приймається $u_1 = 164$.

Кількість витків обмотки статора

$$w_1 = \frac{u_1}{a_1} \cdot p \cdot q_1 = \frac{164}{2} \cdot 2 \cdot 4 = 656 \text{ .}$$

Струм статора

$$I_1 = \frac{P_{2H}}{\eta \cdot \cos \phi_1 \cdot U_1 \cdot m_1} = \frac{250}{0.58 \cdot 0.48 \cdot 220 \cdot 2} = 2.04 \text{ A .}$$

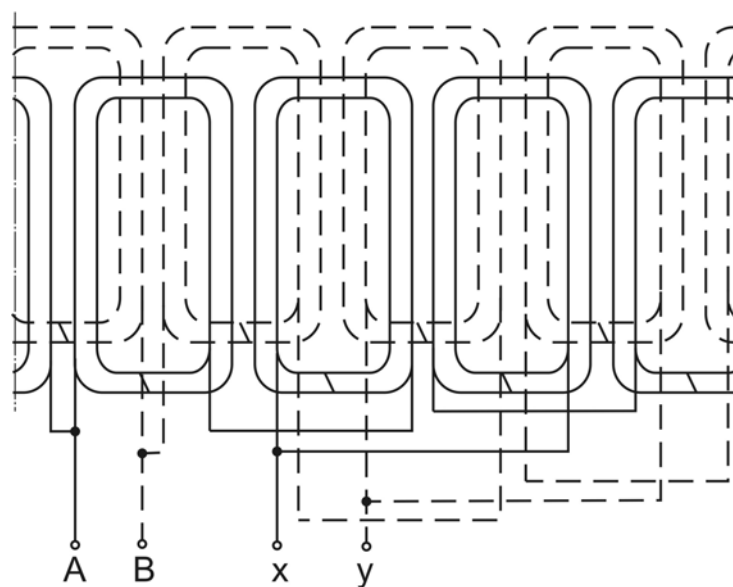


Рис. 2.5. Схема обмотки статора

Уточнене лінійне навантаження статора

$$A_1 = \frac{10 u_1 \cdot z_1 \cdot I_1}{a_1 \cdot \pi \cdot D_1} = \frac{10 \cdot 164 \cdot 32 \cdot 2.04}{2 \cdot \pi \cdot 68} = 250.6 \frac{\text{A}}{\text{см}} \text{ .}$$

Зубцеве ділення статора

$$t_1 = \frac{\pi D_1}{z_1} = \frac{\pi \cdot 68}{32} = 6.68 \text{ мм .}$$

Щільність струму у обмотці статора

$$\Delta'_1 = 7 \frac{\text{A}}{\text{мм}^2} \text{ .}$$

Кількість елементарних провідників

$$N_{e1} = 1 \text{ .}$$

Для обмоток статора обирається дріт марки ПЭТ - 155 (клас нагрівостійкості

F). Перетин дроту обмотки статора

$$q'_{e1} = \frac{I_1}{N_{e1} \cdot \Delta'_1} = \frac{2.04}{7} = 0.291 \text{ мм}^2.$$

Приймається $q_{e1} = 0.312 \text{ мм}^2$.

Трапецеїподібні полузакриті пази статора

Індукція у спинці статора

$$B_{c1} = 1.55 \text{ Тл}.$$

Розрахункове значення висоти спинки статора (рис. 2.6)

$$h_{c1} = \frac{\Phi \cdot 10^6}{2B_{c1} \cdot l_\delta \cdot k_c} = \frac{1.38 \times 10^{-3} \cdot 10^6}{2 \cdot 1.55 \cdot 81 \cdot 0.97} = 5.67 \text{ мм}.$$

Зовнішній діаметр зубцевої зони

$$D_{1п} = D_{1н} - 2 \cdot h_{c1} = 108 - 2 \cdot 5.67 = 96.66 \text{ мм}.$$

Висота зубця статора

$$h_{z1} = \frac{D_{1п} - D_1}{2} = \frac{96.66 - 68}{2} = 14.3 \text{ мм}.$$

Середня індукція у зубцях статора

$$B_{z1} = 1.35 \text{ Тл}.$$

Ширина зубця статора

$$b_{z1} = \frac{B'_\delta \cdot t_1}{B_{z1} \cdot k_c} = \frac{0.5 \cdot 6.68}{1.35 \cdot 0.97} = 2.55 \text{ мм}.$$

Більша ширина паза статора

$$b_1 = \frac{\pi \cdot D_{1п}}{z_1} - b_{z1} = \frac{\pi \cdot 96.66}{32} - 2.55 = 6.94 \text{ мм}.$$

Висота пліцу паза статора

$$h_{h1} = 0.5 \text{ мм}.$$

Менша ширина паза статора

$$b_2 = \frac{t_1 + \frac{2\pi \cdot h_{h1}}{z_1} - b_{z1}}{1 - \frac{\pi}{z_1}} = \frac{6.68 + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 0.5}{32} - 2.55 \right)}{1 - \frac{\pi}{32}} = 4.69 \text{ мм}.$$

Висота

$$h_1 = h_{z1} - h_{h1} - \frac{b_2}{2} = 14.3 - 0.5 - \frac{4.69}{2} = 11.5 \text{ мм}.$$

Ширина шліцу паза статора

$$b_{h1} = 2 \cdot q_{e1} = 2 \cdot 0.312 = 0.624 \text{ мм}.$$

Площина шліца паза статора

$$S_{h1} = b_{h1} \cdot h_{h1} = 0.624 \cdot 0.5 = 0.312 \text{ мм}^2.$$

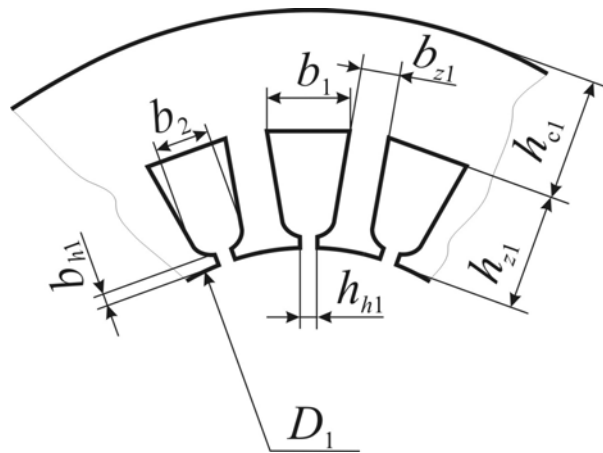


Рис. 2.6. Трапецієподібний паз статора

Площина паза статора, що зайнята обмоткою

$$S_{p1} = h_1 \cdot \frac{b_1 + b_2}{2} + \frac{\pi \cdot b_2^2}{8} = 11.5 \cdot \frac{6.94 + 4.69}{2} + \frac{\pi \cdot 4.69^2}{8} = 75.5 \text{ мм}^2.$$

Середнє значення односторонньої ширини корпусної ізоляції

$$b_{и1} = 0.2 \text{ мм}.$$

Довжина стінки паза статора

$$h_p = 0.5 \cdot \sqrt{(b_1 - b_2)^2 + 4 \cdot h_1^2} = 0.5 \cdot \sqrt{(6.94 - 4.69)^2 + 4 \cdot 11.5^2} = 11.6 \text{ мм}.$$

Площина паза статора, що зайнята ізоляцією

$$S_{pu} = b_{и1} \cdot \left(2h_p + b_1 + \frac{\pi \cdot b_2}{2} \right) = 0.2 \cdot \left(2 \cdot 11.6 + 6.94 + \frac{\pi \cdot 4.69}{2} \right) = 7.5 \text{ мм}^2.$$

Коефіцієнт заповнення паза

$$k_z = \frac{q_{e1} \cdot u_1 \cdot N_{e1}}{S_{p1} - S_{pu}} = \frac{0.312 \cdot 164}{75.5 - 7.5} = 0.75 \text{ мм}^2.$$

Площина паза статора

$$S_{pp1} = S_{p1} + S_{h1} = 75.5 + 0.312 = 75.8 \text{ мм}^2.$$

Розміри елементів обмотки статора

Шаг обмотки статора

$$y_1 = 6 \text{ .}$$

Полусне ділення статора

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_1}{2p} = \frac{\pi \cdot 68}{2 \cdot 2} = 53.4 \text{ мм .}$$

Ширина секції обмотки статора

$$b_{c1} = \frac{y_1 \cdot \pi \cdot (D_1 + h_{z1})}{z_1} = \frac{6 \cdot \pi \cdot (68 + 14.3)}{32} = 48.48 \text{ мм .}$$

Довжина лобової частини обмотки статора

$$l_{л1} = (1.16 + 0.14 \cdot p) \cdot b_{c1} + 15 = (1.16 + 0.14 \cdot 2) \cdot 48.48 + 15 = 84.8 \text{ мм .}$$

Середня довжина витка обмотки статора

$$l_{cp1} = 2 \cdot (l_{\delta} + l_{л1}) = 2 \cdot (81 + 84.8) = 331.6 \text{ мм .}$$

Довжина вилета лобової частини обмотки статора

$$l_{в1} = (0.19 + 0.1 \cdot p) \cdot b_{c1} + 10 = (0.19 + 0.1 \cdot 2) \cdot 48.48 + 10 = 28.9 \text{ мм .}$$

Обмотка короткозамкненого ротора

Індукція у спілці ротора

$$B_{c2} = 1.2 \text{ Тл .}$$

Висота спинки ротора

$$h_{c2} = \frac{\Phi \cdot 10^6}{2B_{c2} \cdot l_{\delta} \cdot k_c} = \frac{1.38 \times 10^{-3} \cdot 10^6}{2 \cdot 1.2 \cdot 81 \cdot 0.97} = 7.32 \text{ мм .}$$

Висота опори магнітопроводу ротора

$$h_{2o} = 3 \text{ мм .}$$

Повітряний зазор між опорою магнітопроводу ротора і валом

$$h_{2o} = \frac{D_2 - 2(h_{c2} + h_{2o}) - d_3}{2} = \frac{65.4 - 2 \cdot (7.32 + 3) - 22}{2} = 11.4 \text{ мм .}$$

Площина ротора

$$S_2 = \pi \cdot (D_1 - \delta) \cdot \delta_r = \pi \cdot (68 - 1.3) \cdot 0.9 = 189 \text{ мм}^2 \text{ .}$$

Розрахунок магнітного кола

Коефіцієнт зубчасті статора

$$K_{\delta 1} = 1 + \frac{b_{h1}}{t_1 - b_{h1} + 5 \cdot \frac{t_1}{b_{h1}} \cdot \delta} = 1 + \frac{0.624}{6.68 - 0.624 + 5 \cdot \frac{6.68}{0.624} \cdot 1.3} = 1.01.$$

Коефіцієнт зубчасті ротора

$$K_{\delta 2} = 1.$$

Загальний коефіцієнт зубчасті

$$K_{\delta} = K_{\delta 1} \cdot K_{\delta 2} = 1.01 = 1.01.$$

МРС повітряного зазору

$$F_{\delta} = 0.8 \cdot \delta \cdot K_{\delta} \cdot B'_{\delta} \cdot 10^3 = 0.8 \cdot 1.3 \cdot 1.01 \cdot 0.5 \cdot 10^3 = 525 \text{ A}.$$

Напруженість у зубцях статора

$$H_{z1} = 5.33 \frac{\text{A}}{\text{см}}.$$

МРС зубців статора

$$F_{z1} = 0.1 \cdot H_{z1} \cdot h_{z1} = 0.1 \cdot 5.33 \cdot 14.3 = 7.62 \text{ A}.$$

Напруженість у спинці статора

$$H_{c1} = 6.3 \frac{\text{A}}{\text{см}}.$$

Напруженість у спинці ротора

$$H_{c2} = 2.62 \frac{\text{A}}{\text{см}}.$$

Середня довжина силової лінії у спинці статора

$$L_{c1} = \frac{\pi \cdot (D_{1n} - h_{c1})}{4 \cdot p} = \frac{\pi \cdot (108 - 5.67)}{4 \cdot 2} = 40.2 \text{ мм}.$$

МРС у спинці статора

$$F_{c1} = 0.1 \cdot H_{c1} \cdot L_{c1} = 0.1 \cdot 6.3 \cdot 40.2 = 25.3 \text{ A}.$$

Середня довжина силової лінії у спинці ротора

$$L_{c2} = \frac{\pi \cdot (D_{2B} + h_{c2})}{4 \cdot p} + h_{c2} = \frac{\pi \cdot (22 + 7.32)}{4 \cdot 2} + 7.32 = 18.8 \text{ мм}.$$

МРС у спинці ротора

$$F_{c2} = 0.1 \cdot H_{c2} \cdot L_{c2} = 0.1 \cdot 2.62 \cdot 18.8 = 4.93 \text{ A}.$$

Загальна МРС активної зони

$$F_{\Sigma a} = 2(F_{\delta} + F_{z1}) = 2 \cdot (525 + 7.62) = 1.065 \times 10^3 \text{ А.}$$

Загальна МРС

$$F_{\Sigma} = F_{\Sigma a} + F_{c1} + F_{c2} = 1.065 \times 10^3 + 25.3 + 4.93 = 1.095 \times 10^3 \text{ А.}$$

Кофіцієнт намагнічування

$$k_{\mu} = \frac{F_{\Sigma}}{2F_{\delta}} = \frac{1.095 \times 10^3}{2 \cdot 525} = 1.04 \text{ .}$$

Струм намагнічування

$$I_{\mu} = \frac{F_{\Sigma} \cdot p}{0.9 m_1 \cdot w_1 \cdot k_{ob1}} = \frac{1.095 \times 10^3 \cdot 2}{0.9 \cdot 2 \cdot 656 \cdot 0.95} = 1.95 \text{ А.}$$

Відносний струм намагнічування

$$I_{\mu\%} = \frac{100 I_{\mu}}{I_1} = \frac{100 \cdot 1.95}{2.04} = 95.6 \text{ \% .}$$

Головний індуктивний опір

$$X_{\mu} = \frac{k_e \cdot U_1}{I_{\mu}} = \frac{0.87 \cdot 220}{1.95} = 98.2 \text{ Ом .}$$

Опір обмотки статора

Пазове розсіювання обмотки статора

$$\lambda_{п1} = \frac{h_1}{3b_2} + \frac{h_{h1}}{b_{h1}} = \frac{11.5}{3 \cdot 4.69} + \frac{0.5}{0.624} = 1.62 \text{ .}$$

Лобове розсіювання обмотки статора

$$\lambda_{л1} = 0.34 \cdot \frac{q_1}{l_{\delta}} \cdot (l_{л1} - 0.64 \cdot \tau) = 0.34 \cdot \frac{4}{81} \cdot (84.8 - 0.64 \cdot 53.4) = 0.85 \text{ .}$$

Коефіцієнт

$$\xi_1 = \frac{2t_1}{t_1} - \frac{0.04 \cdot t_1}{t_1} - k_{ob1}^2 \cdot \left(\frac{t_1}{t_1} \right)^2 = \frac{2 \cdot 6.68}{6.68} - \frac{0.04 \cdot 6.68}{6.68} - 0.95^2 \cdot \left(\frac{6.68}{6.68} \right)^2 = 1.06 \text{ .}$$

Диференціальне розсіювання обмотки статора

$$\lambda_{д1} = \frac{t_1 \cdot \xi_1}{12 \delta \cdot K_{\delta}} = \frac{6.68 \cdot 1.06}{12 \cdot 1.3 \cdot 1.01} = 0.449 \text{ .}$$

Повне розсіювання обмотки статора

$$\lambda_1 = \lambda_{п1} + \lambda_{л1} + \lambda_{д1} = 1.62 + 0.85 + 0.449 = 2.92 \text{ .}$$

					141. 4367ст3. БР. ПЗ. Р2	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

Індуктивний опір обмотки статора

$$X_1 = \frac{1.58 \cdot f \cdot l_\delta \cdot w_1^2 \cdot \lambda_1}{p \cdot q_1 \cdot 10^8} = \frac{1.58 \cdot 50 \cdot 81 \cdot 656^2 \cdot 2.92}{2 \cdot 4 \cdot 10^8} = 10.1 \text{ Ом}.$$

Питомий опір міді

$$\rho_M = 24.4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{мм}.$$

Активний опір обмотки статора

$$R_1 = \rho_M \cdot \frac{w_1 \cdot l_{cp1}}{N_{e1} \cdot q_{e1} \cdot a_1} = 24.4 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{656 \cdot 331.6}{0.312 \cdot 2} = 8.51 \text{ Ом}.$$

Опір обмотки ротора

Питомий опір алюмінію

$$\rho_a = 40 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{мм}.$$

Опір стакану

$$R_{21} = \frac{4 \cdot m_1 \cdot \rho_a \cdot l_\delta}{\delta_r \cdot \pi \cdot D_1} \cdot (w_1 \cdot k_{obl})^2 = \frac{4 \cdot 2 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 81}{0.9 \cdot \pi \cdot 68} \cdot (656 \cdot 0.95)^2 = 52.4 \text{ Ом}.$$

Режим холостого ходу

Об'єм зубцевої зони статора

$$V_{zz1} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{1п}^2 - D_1^2) \cdot l_\delta = \frac{\pi}{4} \cdot (96.66^2 - 68^2) \cdot 81 = 3.002 \times 10^5 \text{ мм}^3.$$

Об'єм пазів статора

$$V_{p1} = S_{pp1} \cdot z_1 \cdot l_\delta = 75.8 \cdot 32 \cdot 81 = 1.965 \times 10^5 \text{ мм}^3.$$

Об'єм зубців статора

$$V_{z1} = V_{zz1} - V_{p1} = 3.002 \times 10^5 - 1.965 \times 10^5 = 1.037 \times 10^5 \text{ мм}^3.$$

Маса зубців статора

$$m_{z1} = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot k_c \cdot V_{z1} = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot 0.97 \cdot 1.037 \times 10^5 = 0.785 \text{ кг}.$$

Об'єм спілки статора

$$V_{c1} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{1н}^2 - D_{1п}^2) \cdot l_\delta = \frac{\pi}{4} \cdot (108^2 - 96.66^2) \cdot 81 = 1.476 \times 10^5 \text{ мм}^3.$$

Маса спілки статора

$$m_{c1} = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot V_{c1} \cdot k_c = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1.476 \times 10^5 \cdot 0.97 = 1.12 \text{ кг}.$$

Втрати потужності у зубцях статора

$$P_{Z1} = 4.4 \cdot B_{Z1}^2 \cdot m_{Z1} = 4.4 \cdot 1.35^2 \cdot 0.785 = 6.29 \text{ Вт.}$$

Втрати потужності у спинці статора

$$P_{C1} = 4.4 \cdot B_{C1}^2 \cdot m_{C1} = 4.4 \cdot 1.55^2 \cdot 1.12 = 11.8 \text{ Вт.}$$

Загальні втрати потужності у сталі

$$P_{CT} = P_{Z1} + P_{C1} = 6.29 + 11.8 = 18.1 \text{ Вт.}$$

Активний опір гілки намагнічування

$$R_{\mu} = \frac{P_{CT}}{m_1 \cdot I_{\mu}^2} = \frac{18.1}{2 \cdot 1.95^2} = 2.38 \text{ Ом.}$$

Розрахунок параметрів номінального режиму роботи

Номінальне ковзання

$$s_n = 0.238 \text{ .}$$

Повний опір робочої гілки

$$Z_{21s} = \frac{R_{21}}{s_n} = \frac{52.4}{0.238} = 220 \text{ Ом.}$$

Зворотний еквівалентний опір паралельних гілок заступної схеми (рис. 2.7)

$$Z_{ps} = \frac{1}{Z_{21s}} + \frac{1}{Z_{\mu}} = \frac{1}{220} + \frac{1}{2.38 + 98.2 \cdot i} = 4.79 \times 10^{-3} - 0.01i \text{ См.}$$

Еквівалентний опір заступної схеми (рис.2.7)

$$Z_{ek} = Z_1 + \frac{1}{Z_{ps}} = 8.51 + 10.1 \cdot i + \frac{1}{4.79 \times 10^{-3} + -0.01 \cdot i} = 46.2 + 90.4i \text{ Ом.}$$

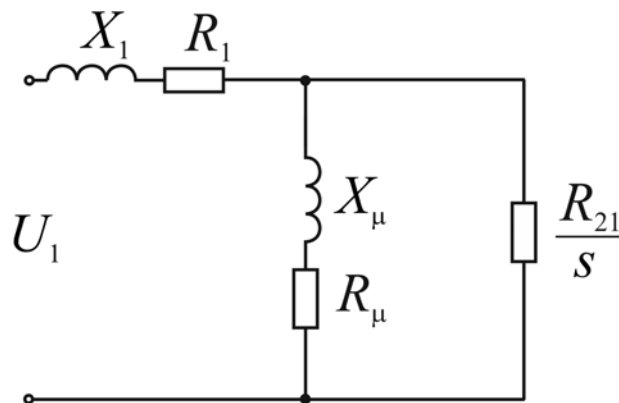


Рис. 2.7. Т- подібна заступна схема ОАД

Номинальний коефіцієнт потужності

$$\cos\phi_{1n} = \cos(\arg(Z_{ek})) = \cos(\arg(46.2 + 90.4 \cdot i)) = 0.455.$$

Номинальний струм статора

$$I_{1n} = \frac{U_1}{|Z_{ek}|} = \frac{220}{|46.2 + 90.4 \cdot i|} = 2.17 \text{ A}.$$

Номинальний зведений струм ротора

$$I_{21n} = U_1 \cdot \left| \frac{Z_{ek} - Z_1}{Z_{ek} \cdot Z_{21s}} \right| = 220 \cdot \left| \frac{46.2 + 90.4 \cdot i - (8.51 + 10.1 \cdot i)}{(46.2 + 90.4 \cdot i) \cdot 220} \right| = 0.874 \text{ A}.$$

Номинальна споживана потужність

$$P_{1n} = m_1 \cdot U_1 \cdot I_{1n} \cdot \cos\phi_{1n} = 2 \cdot 220 \cdot 2.17 \cdot 0.455 = 434.43 \text{ Вт}.$$

Втрати потужності:

- у обмотці статора

$$P_{e1} = m_1 \cdot I_{1n}^2 \cdot R_1 = 2 \cdot 2.17^2 \cdot 8.51 = 80.15 \text{ Вт}.$$

- у обмотці ротора

$$P_{e2} = m_1 \cdot I_{21n}^2 \cdot R_{21} = 2 \cdot 0.874^2 \cdot 52.4 = 80.1 \text{ Вт}.$$

- загальні електричні

$$P_{ze} = P_{e1} + P_{e2} = 80.15 + 80.1 = 160.25 \text{ Вт}.$$

- механічні

$$P_{mex} = 6 \cdot \left(\frac{n_1}{1000} \right)^2 \cdot \left(\frac{D_1}{100} \right)^4 = 6 \cdot \left(\frac{1.5 \times 10^3}{1 \times 10^3} \right)^2 \cdot \left(\frac{68}{100} \right)^4 = 2.89 \text{ Вт}.$$

- додаткові

$$P_{dob} = 0.01 \cdot P_{2H} = 0.01 \cdot 250 = 2.5 \text{ Вт}.$$

- загальні електромагнітні

$$P_{se} = P_{ze} + P_{ст} = 160.25 + 18.1 = 178.35 \text{ Вт}.$$

- загальні

$$P_s = P_{se} + P_{mex} + P_{dob} = 178.35 + 2.89 + 2.5 = 183.74 \text{ Вт}.$$

Корисна потужність

$$P_2 = P_{1n} - P_s = 434.43 - 183.74 = 250 \text{ Вт}.$$

ККД

$$\eta = 1 - \frac{P_s}{P_{1n}} = 1 - \frac{183.74}{434.43} = 0.577.$$

					141. 4367ст3. БР. ПЗ. Р2	Лист 30
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Номинальний момент

$$M_{2n} = \frac{P_2 \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (1 - s_n)} = \frac{250 \cdot 2}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1 - 0.238)} = 2.09 \text{ Нм} .$$

Лінійне навантаження статора

$$A_1 = \frac{10 \cdot I_{1n} \cdot u_1}{a_1 \cdot t_1} = \frac{10 \cdot 2.17 \cdot 164}{2 \cdot 6.68} = 266 \frac{\text{А}}{\text{см}} .$$

Щільність струму в обмотці статора

$$\Delta_1 = \frac{I_{1n}}{N_{e1} \cdot q_{e1}} = \frac{2.17}{0.312} = 6.96 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} .$$

Номинальний електромагнітний момент

$$M_n = \frac{m_1 \cdot I_{21n}^2 \cdot p \cdot R_{21}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot s_n} = \frac{2 \cdot 0.874^2 \cdot 2 \cdot 52.4}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.238} = 2.14 \text{ Нм} .$$

Розрахунок моменту інерції ротора

Об'єм ротора

$$V_2 = S_2 \cdot l_\delta \cdot 10^{-3} = 189 \cdot 81 \cdot 10^{-3} = 15.3 \text{ см}^3 .$$

Маса ротора

$$m_2 = 2.7 \cdot 10^{-3} \cdot V_2 = 2.7 \cdot 10^{-3} \cdot 15.3 = 0.041 \text{ кг} .$$

Маса вала ротора

$$m_B = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\pi \cdot D_{2B}^2}{4} \cdot 3l_\delta = 7.8 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\pi \cdot 22^2}{4} \cdot 3 \cdot 81 = 0.721 \text{ кг} .$$

Момент інерції вала

$$j_B = \frac{m_B \cdot D_{2B}^2 \cdot 10^{-6}}{8} = \frac{0.721 \cdot 22^2 \cdot 10^{-6}}{8} = 4.36 \times 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Момент інерції ротора

$$j_2 = \frac{m_2 \cdot (2D_1 \cdot \delta - \delta^2) \cdot 10^{-6}}{8} = \frac{0.041 \cdot (2 \cdot 68 \cdot 1.3 - 1.3^2) \cdot 10^{-6}}{8} = 9.04 \times 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції приводу

$$j_{\Pi} = 0.0001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

					141. 4367ст3. БР. ПЗ. Р2	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

Загальний момент інерції рухливої частини

$$j = j_B + j_2 + j_{\Pi} = 4.36 \times 10^{-5} + 9.04 \times 10^{-7} + 1 \times 10^{-4} = 1.45 \times 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

2.3. Вибір запобіжників

Повний опір робочої гілки при пуску

$$Z_{21} = R_{21} = 52.4 = 52.4 \text{ Ом}.$$

Зворотний еквівалентний опір паралельних гілок заступної схеми

$$Z_{ps} = \frac{1}{Z_{21}} + \frac{1}{Z_{\mu}} = \frac{1}{52.4} + \frac{1}{2.38 + 98.2 \cdot i} = 0.019 - 0.01i \text{ См}.$$

Еквівалентний опір заступної схеми

$$Z_{ek} = Z_1 + \frac{1}{Z_{ps}} = 8.51 + 10.1 \cdot i + \frac{1}{0.019 + -0.01 \cdot i} = 49 + 31.5i \text{ Ом}.$$

Пусковий струм статора

$$I_{1\Pi} = \frac{U_1}{|Z_{ek}|} = \frac{220}{|49 + 31.5 \cdot i|} = 3.78 \text{ А}.$$



Рис. 2.8. Запобіжник типу NT

Для захисту ОАД обираються запобіжники НТООС (рис. 2.8) з номінальним струмом 6 А.

2.4. Розрахунок та вибір конденсаторів обмотки керування.

Розрахунок ємності конденсатора виконується для номінального режиму роботи двигуна, що необхідно робити для отримання поліпшених енергетичних показників.

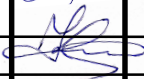
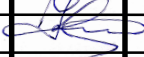
Ємнісний опір конденсатора

$$X_{\text{сн}} = 2X_1 = 2 \cdot 10.1 = 20.2 \text{ Ом}.$$

Ємність конденсатора

$$C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot X_{\text{сн}}} = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 20.2} = 158 \text{ мкФ}.$$

Обираються шістнадцять металево-паперових конденсаторів типу МБГО на робочу напругу 630 В і ємністю 10 мкФ. Конденсатори цього типу характеризуються достатньо високою довговічністю 2000 годин наробітки. Інтервал робочих температур від -60° до $+60^\circ$.

					141. 4367см3. БР. ПЗ. РЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Сербул І.О.			РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА			Лім.	Лист	Листів		
Керівник		Кімстач О.Ю.								34	8	
.								НУК				
Н. контр.												
В.о. зав. каф.		Обрубов А.В.										

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

3.1. Розрахунок електромеханічних характеристик

Задаючись рядом значень ковзання s від 0 до 1,0, виконується розрахунок механічних характеристик (рис.3.1) у наступному порядку:

Повний опір робочої гілки

$$Z_{21}(s) = \frac{R_{21}}{s} .$$

Еквівалентний опір заступної схеми

$$Z_{ekv}(s) = Z_1 + \frac{1}{\frac{1}{Z_{21}(s)} + \frac{1}{Z_{\mu}}} .$$

Зведений струм ротора

$$I_{21}(s) = U_1 \cdot \left| \frac{Z_{ekv}(s) - Z_1}{Z_{ekv}(s) \cdot Z_{21}(s)} \right| .$$

Момент двигуна

$$M(s) = \frac{m_1 \cdot I_{21}(s)^2 \cdot p \cdot R_{21}}{2 \cdot \pi \cdot M_n \cdot f \cdot s} .$$

Струм двигуна

$$I_{1s}(s) = \frac{\frac{U_1}{I_{1n}}}{\left| Z_1 + \frac{1}{\frac{1}{Z_{21}(s)} + \frac{1}{Z_{\mu}}} \right|} .$$

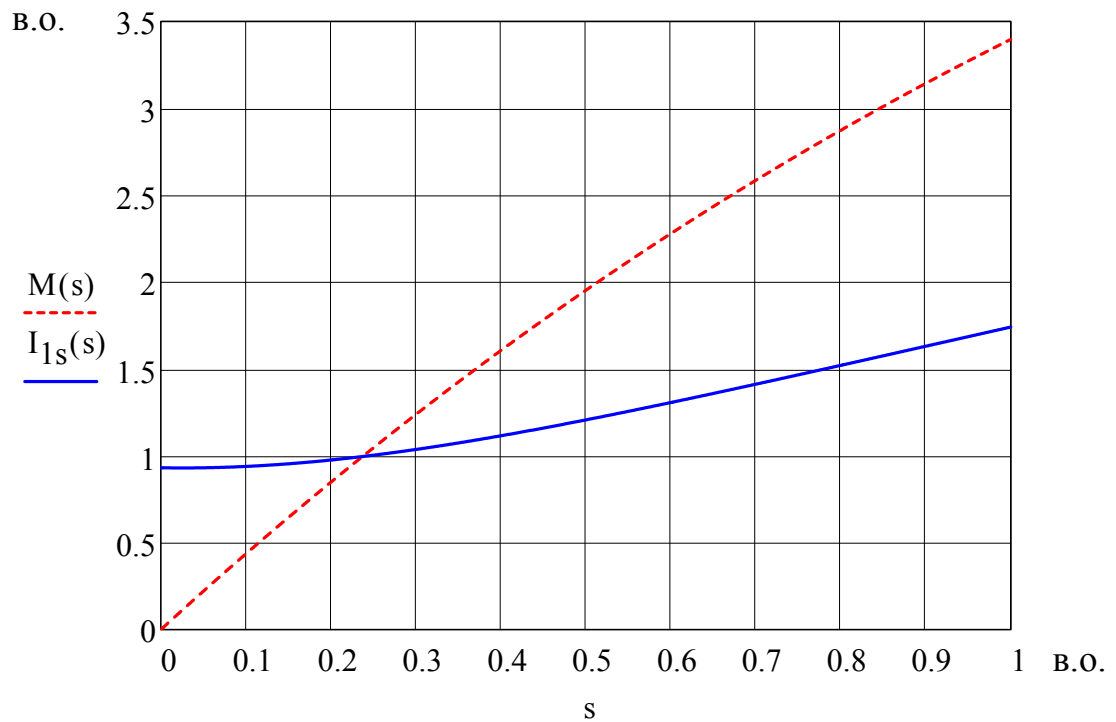


Рис. 3.1. Електромеханічні характеристики двигуна

Електромеханічні характеристики ОАД показують, що він має пускову кратність моменту приблизно 3,4, пускову кратність струму 1,74.

3.2. Розрахунок робочих характеристик

Задаючись рядом значень ковзання s от 0 до 0.4, виконується розрахунок у наступному порядку:

Опір гілки ротору ОАД

$$z_{21}(s) = \frac{R_{21}}{s} .$$

Еквівалентний опір заступної схеми

$$Z_{ек}(s) = Z_1 + \frac{1}{\frac{1}{z_{21}(s)} + \frac{1}{Z_{\mu}}} .$$

Струм ОАД

$$I_1(s) = \frac{U_1}{|Z_{ек}(s)|} .$$

Коефіцієнт потужності

$$\cos\phi(s) = \cos\left(\arg\left(Z_{ек}(s)\right)\right) .$$

Активна потужність споживання

$$P_1(s) = m_1 \cdot U_1 \cdot I_1(s) \cdot \frac{\cos\phi(s)}{P_{2H}} .$$

Струм робочої гілки

$$I'_2(s) = U_1 \cdot \left| \frac{Z_{ек}(s) - Z_1}{Z_{ек}(s) \cdot z_{21}(s)} \right| .$$

Корисна потужність

$$P_2(s) = \frac{m_1 \cdot R_{21} \cdot I'_2(s)^2 \cdot \frac{1-s}{s} - P_{mex} - P_{dob}}{P_{2H}} .$$

ККД

$$\eta(s) = \frac{P_2(s)}{P_1(s)} .$$

Момент на валу

$$M_2(s) = \frac{P_2(s) \cdot p \cdot P_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (1-s) \cdot M_{2n}} .$$

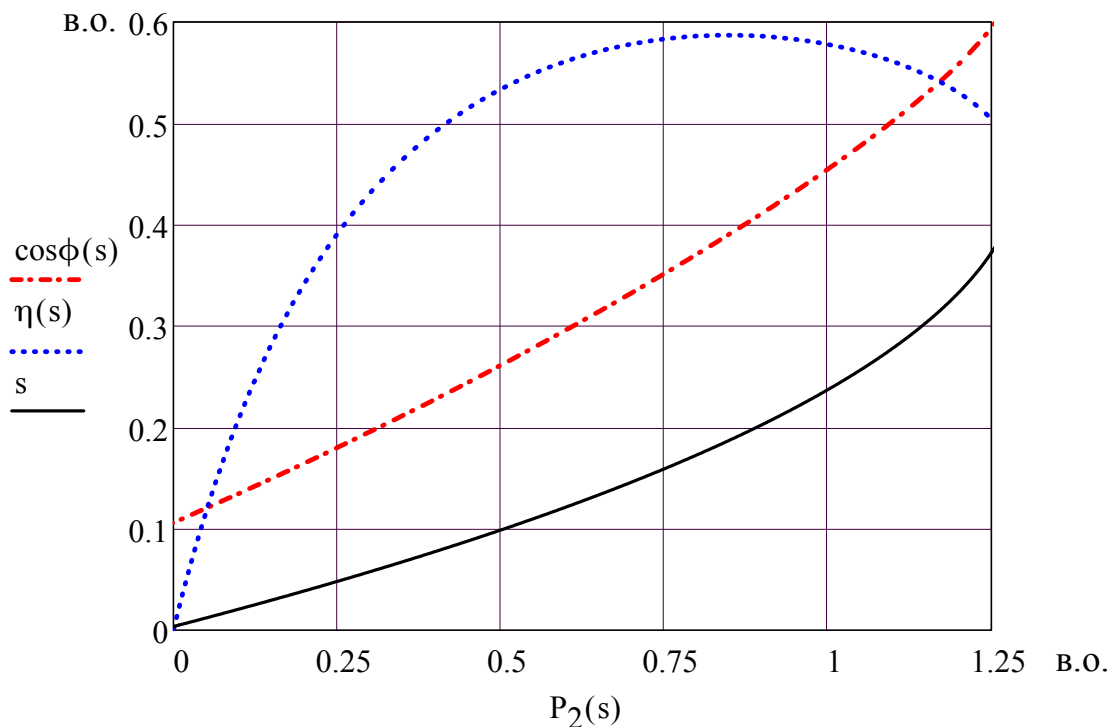


Рис. 3.2. Робочі характеристики ОАД: коефіцієнт потужності, ККД і ковзання.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

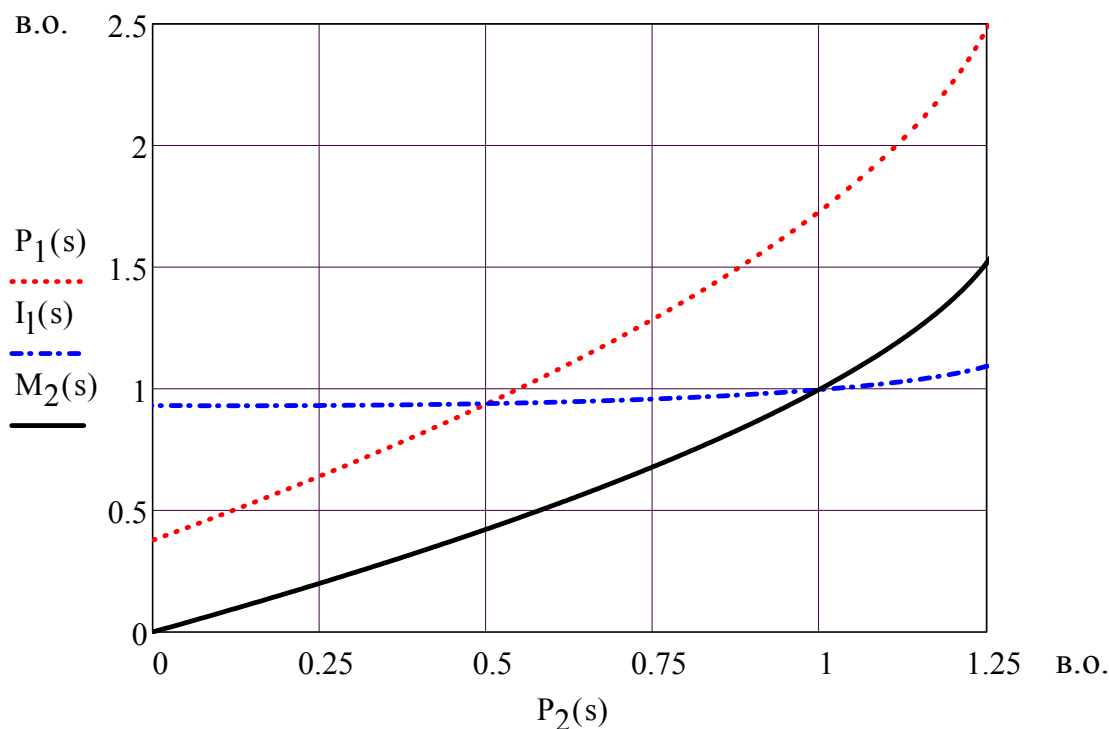


Рис . 3.3. Робочі характеристики ОАД:

активна потужність споживання, струм і момент на валу.

Значення ККД біля 58 % і коефіцієнта потужності приблизно 0,46 дозволяє говорити про достатньо хороші енергетичні показники двигуна.

3.3. Розрахунок динамічних характеристик

Дослідження динамічних характеристик АД необхідно для встановлення таких параметрів, як максимальний ударний струм та час пуску АД.

Розрахунок виконується при наступних припущеннях: не враховуються вихрові струми, насичення магнітного кола, зміна активних опорів через нагрівання, витиснення струмів та ін.

Використовується математична модель звичайного асинхронного двигуна на базі узагальненої двофазної електричної машини, але додатково враховується опір гілки намагнічування.

Система рівнянь для двообмоткової узагальненої електричної машини

$$\left. \begin{aligned} \vec{U}_s &= R_s \vec{I}_s + d\vec{\Psi}_s / dt + j\omega_k \vec{\Psi}_s; \\ \vec{U}_r &= R_r \vec{I}_r + d\vec{\Psi}_r / dt + j(\omega_k - \omega_r) \vec{\Psi}_r, \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де ω_k – швидкість обертання координатних осей; ω_r – швидкість обертання ротора; $\vec{U}_s, \vec{I}_s, \vec{\Psi}_s, \vec{U}_r, \vec{I}_r, \vec{\Psi}_r$ – вектори напруг, струмів і потокозчеплень статора і ротора відповідно; R_s, R_r – активні опори статора і ротора відповідно.

Рівняння (3.1) виходять із рівнянь Кирхгофа для чотирьох обмоток узагальненої машини при введенні потокозчеплень

$$\left. \begin{aligned} \vec{\Psi}_s &= L_s \cdot \vec{I}_s + M_{sr} \cdot \vec{I}_r; \\ \vec{\Psi}_r &= L_r \cdot \vec{I}_r + M_{sr} \cdot \vec{I}_s, \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

де L_s, L_r, M_{sr} – повні індуктивності статора і ротора і взаємна індуктивність відповідно.

Для спрощення введені спеціальні параметри рівнянь зв'язку для переходу від індуктивностей до реактивних опорів, що значно полегшує використання математичної моделі в практичних цілях.

Параметри рівнянь зв'язку

$$\left. \begin{aligned} c_r &= (x_m + x_r) / x_m; \\ c_s &= (x_m + x_s) / x_m; \\ a &= x_m (c_s c_r - 1), \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

де x_s, x_r, x_m – індуктивні опори статора, ротора і кола намагнічування відповідно.

Рівняння зв'язку для двигуна з (3.2) з урахуванням (3.3)

$$\left. \begin{aligned} i_{su} &= (c_r \Psi_{su} - \Psi_{ru}) / a; \\ i_{sv} &= (c_r \Psi_{sv} - \Psi_{rv}) / a; \\ i_{ru} &= (c_s \Psi_{ru} - \Psi_{su}) / a; \\ i_{rv} &= (c_s \Psi_{rv} - \Psi_{sv}) / a, \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

де $i_{su}, i_{sv}, i_{ru}, i_{rv}, \Psi_{su}, \Psi_{sv}, \Psi_{ru}, \Psi_{rv}$ – струми і потокозчеплення обмоток статора і ротора по осях u і v відповідно.

При визначенні математичної моделі АВД використовуються рівняння узагальненої електричної машини в осях u і v , швидкість обертання координатних осей ω_k прийнята рівної швидкості обертання магнітного поля статора.

Рівняння потокозчеплень двигуна

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_{su}}{dt} &= U_{su} - r_s \cdot i_{su} + \Psi_{sv} - r_m (i_{su} + i_{ru}); \\ \frac{d\Psi_{sv}}{dt} &= U_{sv} - r_s \cdot i_{sv} - \Psi_{su} - r_m (i_{sv} + i_{rv}); \\ \frac{d\Psi_{ru}}{dt} &= -r_r \cdot i_{ru} + s \cdot \Psi_{rv} - s \cdot r_m (i_{su} + i_{ru}); \\ \frac{d\Psi_{rv}}{dt} &= -r_r \cdot i_{rv} - s \cdot \Psi_{ru} - s \cdot r_m (i_{sv} + i_{rv}), \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

де r_s , r_r – активні опори обмоток статора і ротора відповідно; r_m – активний опір кола намагнічування.

Рівняння електромагнітного моменту

$$M = m_{д1} (\Psi_{dsu} i_{дsv} - \Psi_{дsv} i_{dsu}). \quad (3.6)$$

Рівняння руху

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = M - M_c, \quad (3.7)$$

де M_c – момент опору; J – момент інерції привода.

Система диференціальних рівнянь (3.5), рівнянь зв'язку (3.3), (3.4) і рівняння моменту (3.6) і руху (3.7), що складають математичну модель АВД, вирішується за допомогою ЕОМ чисельним методом Ейлера (рис.3.4). Програму розрахунків, яку виконано за допомогою MathCad 15, наведено у додатку.

Час пуску АД складає приблизно 0,25 с, при цьому ударне значення струму, досягає 2,1 номінальних значень.

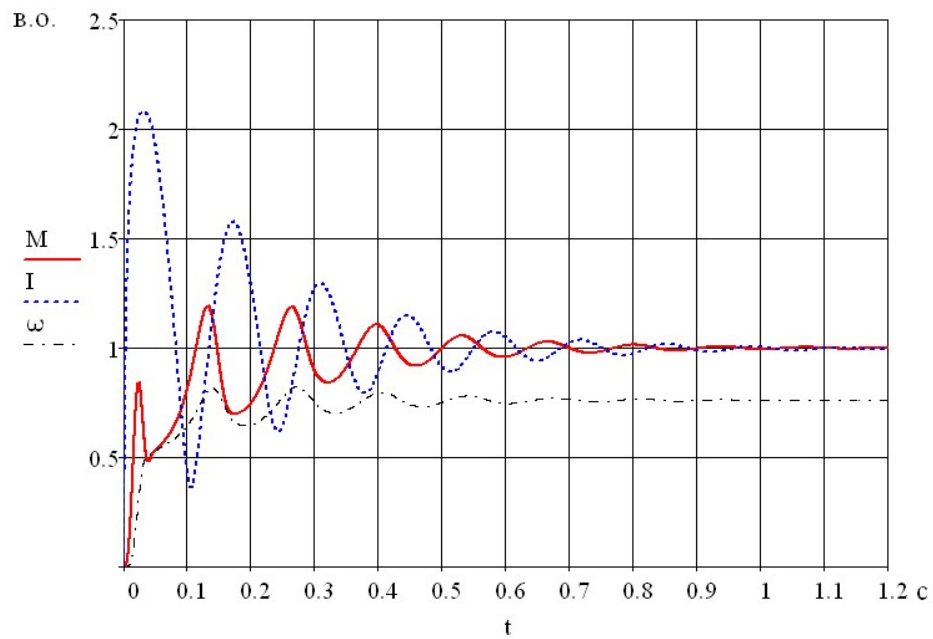


Рис.3.4. Динамічні характеристики ОАД.

					141. 4367см3. БР. ПЗ. Р4		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Сербул І.О.			ОХОРОНА ПРАЦІ	Лім.	Лист
Керівник		Кімстач О.Ю.					42
Консульт.						НУК	
Н. контр.							
В.о. зав. каф.		Обрубов А.В.					

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Вступ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних мір і засобів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Основні положення охорони праці записані в загальних і соціальних правилах по техніці безпеки і виробничій санітарії, що регламентують проектування, пристрій і зміст виробничих і допоміжних приміщень, огороження машин, механізмів, належний стан вентиляції і висвітлення. Усі вимоги безпеки праці, що пред'являються до виробничої сфери, устаткуванню, а також до працюючого, повинні неухильно дотримуватися.

У поняття охорони праці входять:

- трудове законодавство;
- техніка безпеки – система організаційних і технічних заходів і засобів, що запобігають вплив на робочих небезпечних виробничих факторів;
- виробнича санітарія – система організаційних, гігієнічних і санітарно-технічних заходів і засобів, що запобігають на працюючих вплив шкідливих виробничих факторів.

Основні законодавчі акти з охорони праці:

1. Конституція України – гарантує право на безпечні та нешкідливі умови праці.
2. Закон України „Про охорону праці” – це самостійна, гілка в законодавстві України про працю. Закон визначає основні положення конституційного права громадян на охорону життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює відносини між власником і працівником з питань безпеки, гігієни праці, а також встановлює єдиний порядок організації охорони праці

в Україні.

3. Кодекс законів про працю – основний закон національного трудового законодавства.

Законодавство про працю України визначає правові засади і гарантії здійснення громадянами України права розпоряджатися своїми здібностями до продуктивної і творчої праці, регулює трудові відносини працівників усіх підприємств, установ незалежно від форми власності, виду діяльності і галузевої належності.

4. Закон України „Про охорону здоров'я населення”.

Цей Закон визначає правові, організаційні, економічні та соціальні основи охорони здоров'я населення в Україні.

5. Закон України „Про пожежну безпеку”

Закон визначає правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України. Забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною державної діяльності щодо охорони життя та здоров'я людей, національного багатства і навколишнього природного середовища.

6. Закон України „Про охорону навколишнього природного середовища”.

Завданням законодавства про охорону навколишнього природного середовища є встановлення відносин в області охорони, використання та відновлення природних ресурсів, у забезпечення екологічної безпеки, запобігання і ліквідації негативного впливу господарської діяльності на довкілля.

Охорона праці приділяє увагу небезпечним і шкідливим факторам, що впливають на людський організм.

У взаємозв'язку людини і навколишнього середовища існують три види шкідливих факторів:

1) шкідливі фактори, зв'язані з режимом виробничого процесу, що впливають на слух, зір;

2) шкідливі фактори, обумовлені порушенням санітарного благоустр-

рою – недостатня кубатура робочих і житлових приміщень, погана вентиляція та освітленість;

3) шкідливі фактори, зв'язані з виробничим процесом – це шуми, вібрація, пил, отрута, опромінення.

Небезпечні виробничі фактори призводять до травми або до іншому раптовому різкому погіршенню здоров'я. Результат – нещасний випадок на виробництві.

Шкідливі виробничі фактори призводять до захворювання або зниження працездатності. Результат – професійне захворювання.

4.1. Аналіз небезпечних факторів, що впливають на людину у процесі зборки та експлуатації електричних машин.

По природі дії на організм людини небезпечні і шкідливі виробничі чинники (НВЧ і ШВЧ) підрозділяються на чотири групи: фізичні; хімічні; біологічні та психофізіологічні.

До *фізичних* ШВЧ відносяться частини машин; гострі крайки; підвищений рівень вібрації, шуму; аномальне значення мікроклімату; підвищена запиленість і загазованість, випромінювання і т.д.

Хімічні чинники діляться на токсичні, алергени, канцерогенні, мутагенні.

Канцерогенні – які викликають рак (нікель, з'єднання кульгаву, азбест, аміни і т.п.).

Мутагенні – які впливають на репродуктивну функцію (магній, ртуть).

Біологічні НВЧ: патогенні мікроорганізми і продукти їх життєдіяльності; рослини; тварини; людина.

Психофізіологічні НВЧ: нервово-емоційні перевантаження; монотонність; статичне, динамічне навантаження; робота в нічну зміну і т.п.

У залежності від енерговитрат усі роботи діляться на три категорії:

- легкі;

- середньої ваги;
- важкі.

Шкідливі речовини. Ведення ряду технологічних процесів супроводжується виділенням у повітря робочої зони шкідливих хімічних речовин у вигляді парів, газу і пилюки.

Вібрація. Переміщення точки або механічної системи при якому відбувається почергове зростання і убутання в часу значень хоча б однієї координати.

Причиною порушення вібрації є виникаючі при роботі машин невідновжені силові впливи: ударні навантаження; зворотно-поступальні переміщення; дисбаланс. Причиною дисбалансу є: неоднорідність матеріалу; розбіжність центрів мас і осей обертання; деформація.

Біологічний вплив вібрації. Вібрація – загальнобіологічний шкідливий чинник, що призводить до фахових захворювань – віброзахворювань, лікування котрих можливо тільки на ранніх стадіях. Хвороба супроводжується стійкими порушеннями в організмі людини (опорно-руховий апарат, необоротні зміни в кістках і суглобах, зсуви в черевній порожнині, нервово-психічній сфері). Людина частково або цілком втрачає працездатність. По способу передачі на людину вібрація підрозділяється на загальну і локальну. Загальна – діє через опорні поверхні ніг на весь організм у цілому. Локальна – на окремі ділянки тіла. Загальну поділяють по характеру передачі на: *транспортну; транспортно-технологічну; технологічну.*

Виробничий шум. Любий небажаний для людини звук, робить негативний вплив на здоров'я і працездатність.

Як фізичне явище звук – механічні коливання пружного середовища, яке сприймається людським вухом в інтервалі частот 16...20000 Гц.

Нормованою характеристикою шуму є рівень звукового тиску, тому що самий звуковий тиск і інтенсивність змінюються в широких межах і їх нормувати неможливо. Також людське вухо підпорядковується закону Ве-

бера-Фехнера: принцип відносності сприйняття шуму людиною. Поширено частотний метод аналізу шуму. Вимір рівня звукового тиску на середньгеометричних частотах із наступним порівнянням по ДСТ.

Електробезпека. Система організаційно-технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливих впливів електричного струму і статичної електрики. Порушення вимог електробезпеки призводить до електротравм.

Електрична травма – травма, викликана впливом електричного струму і дуги. Сукупність таких травм – електротравматизм.

Електрична установка – сукупність машин, апаратів, ліній і допоміжного устаткування, призначених для виробки, перетворення, трансформації, передачі і розподілу електричної енергії.

Причини електротравматизму:

- однофазний дотик людини до неізолюованих струмоведучих частин,
- одночасний дотик людини до 2 струмоведучих неізолюованих частин під напругою,
- наближення на небезпечну відстань людини, до неізолюованого від землі або до неізолюованих струмоведучих частин під напругою.
- дотик людини до металевих корпусів під напругою.

Біологічна дія току на організм людини. Проходячи через організм людини струм робить 4 види впливу:

- термічна дія – яка проявляється в опіках окремих частин, нагріванні до високих температур кровоносних судин, крові, нервів, серця, мозку, що викликає серйозний розлад,
- електролітична дія – розпад органічної рідини (лімфи і крові) із порушенням її складу,
- механічна дія – розшарування, розрив тканин організму (м'язів серця, судин) у результаті електродинамічного ефекту; миттєвого вибухоподібного утворення пару від перегрітої током тканинної рідини і крові,

- біологічне – подразнення живих тканин організму; порушення внутрішніх біоелектричних процесів, що протікають у нормальному організмі.

Опіки бувають: токові, контактні, дугові.

Механічні ушкодження відбуваються через судорожне скорочення м'язів.

4.2. Безпека виробничого устаткування

Загальні вимоги безпеки виробничого устаткування визначені державним стандартом, за яким безпечність виробничого устаткування забезпечується: правильною розробкою конструктивних схем, елементів конструкцій, використанням засобів механізації, автоматизації та дистанційного управління, застосування у конструкціях засобів захисту, включення вимог безпеки до технічної документації з монтажу, експлуатації, ремонту, транспортування та зберігання устаткування тощо.

Таким чином, *безпечність виробничого устаткування – це його відповідність вимогам безпеки праці під час монтажу, експлуатації, ремонту в умовах, установлених нормативною документацією.*

При проектуванні устаткування необхідно враховувати умови його експлуатації, транспортування з тим, щоб при дії на нього метеорологічних факторів, сонячної радіації та інших чинників, воно не ставало небезпечним; не допустити випадкового руйнування окремих вузлів і деталей; передбачити необхідні технічні засоби захисту. Устаткування не повинно мати гострих країв, нерівних, гарячих чи переохолоджених поверхонь.

Якщо устаткування виділяє тепло, шкідливі речовини, створює шум, вібрацію та інше, то мають бути передбачені відповідні поглиначі, аби дія цих негативних факторів не перевищувала гранично допустимих рівнів у межах робочої зони.

Устаткування повинно бути оснащено засобами сигналізації про порушення нормального режиму роботи, а в необхідних випадках (у разі аварій, нещасних випадків, ввімкнення джерел енергії) – засобами автоматичної

зупинки, гальмування. Причому необхідно унеможливити самовільне вмикання приводів робочих органів при відновленні подачі енергії.

При проектуванні і виготовленні устаткування необхідно враховувати антропометричні, фізіологічні, психофізіологічні та психологічні можливості людини. Робочі місця мають бути оснащені необхідними технічними засобами і забезпечувати зручність і безпеку працівникам.

Надзвичайно важливим є раціональне розміщення виробничого устаткування в робочій зоні.

Дистанційне спостереження й управління технологічними процесами – найбільш ефективний захід запобігання виробничому травматизму і захворюванням на виробництві. Його застосовують у тих випадках, коли безпосереднє перебування оператора в робочій зоні з мотивів безпеки і технологічних особливостей неможливе, недоцільне або економічно не вигідне, наприклад при роботі з легкозаймистими, токсичними та іншими речовинами.

Дистанційне автоматичне управління виробничими процесами здійснюється відповідно до розроблених програм.

Устаткування у процесі експлуатації не повинно забруднювати навколишнього середовища шкідливими речовинами вище ГДК (ГДР) та створювати небезпеку вибуху чи пожежі.

Безпечність виробничого устаткування також залежить від умінь людини працювати з ним. Відомо, що від неправильних дій людини в системі Л-МС відбувається до 50 % аварій.

4.3. Безпека виробничих процесів

Загальні вимоги безпеки до виробничих процесів визначені державним стандартом.

Безпечність виробничого процесу – це властивість відповідних технологій відповідати вимогам безпеки праці під час проведення їх в умовах, установлених нормативною документацією.

Безпечність виробничих процесів залежить від: вибору технологій,

планування та обладнання виробничих приміщень; розташування виробничого устаткування та організації робочих місць; вибору вихідних матеріалів, способу зберігання та транспортування їх, готової продукції та відходів виробництва, професійного відбору та навчання працівників, застосування засобів захисту працівників; включення вимог безпеки до нормативно-технічної та технологічної документації, забезпечення вибухо- та пожежобезпеки.

Виробничі процеси не повинні забруднювати навколишнє середовище викидами шкідливих та небезпечних речовин, а концентрація та рівень цих факторів — перевищувати допустимі норми.

Безпека будь-якого технологічного процесу має розглядатись як система взаємозв'язку робочих місць, умов праці, взаємодії людини з устаткуванням, де джерелом небезпеки може бути будь-який засіб праці.

Вірогідність нещасного випадку значно збільшується, як тільки людина попадає в область дії небезпечного або шкідливого фактора. Ці області називають небезпечними зонами. Небезпечною зоною може бути простір біля піднімаючих конструкцій устаткування, простір біля приміщення, що перебуває в аварійному стані і т. п.

Необхідно володіти знаннями щодо різних технологічних процесів, які можуть мати *фіксовані або нестабільні небезпечні зони*.

Нещасний випадок може мати місце лише тоді, коли людина потрапляє до зони дії небезпечного виробничого фактора (небезпечної зони).

Якщо всі робочі місця знаходитимуться за межами небезпечних зон, то безпека буде зведена до мінімуму. Досягненню цієї мети сприяє впровадження механізації та автоматизації виробничих процесів, дистанційного управління.

Окрім того, всі технологічні операції повинні передбачати також систему управління і контролю за системою Л-МС, що забезпечить захист людей або аварійне відключення виробничого устаткування на випадок аварії.

Слід пам'ятати, що дотримання техніки безпеки та надійна робота механізмів, а також висока організація технологічного процесу є запорукою уникнення нещасного випадку також у небезпечній зоні.

Від помилкових дій людини в системі ЛМС відбувається майже половина аварій. Для зменшення кількості помилок, зниження втомленості людини у процесі праці проводиться велика кількість різних заходів.

Це, наприклад, тестовий підбір і навчання спеціалістів щодо оцінки сили, рухливості і зрівноваженості нервових процесів.

Під силою нервових процесів розуміють здатність нервових клітин витримувати надмірну дію екстремальних факторів. Рухливість нервової системи визначається за швидкістю реагування людини на різні сигнали середовища. Головною умовою при цьому є здатність швидко і надійно оцінювати складні і небезпечні ситуації і приймати вірне рішення. Під зрівноваженістю нервових процесів розуміють співвідношення збудження та гальмування між собою, тобто рівність або нерівність цих процесів в загальному балансі рефлекторної діяльності організму людини, в її здатності контролювати різносторонні виробничі процеси й управляти ними.

У виробничий процес для підвищення продуктивності праці та її безпеки слід впроваджувати досягнення ергономіки. **Ергономіка** (від грецьк. “*ergos*” робота, “*nomos*” закон) — наукова дисципліна, що комплексно вивчає людину в конкретних умовах її діяльності в сучасному виробництві, виявляє можливості і закономірності створення оптимальних умов для високопродуктивної праці, вдосконалення умінь та навичок працюючих.

Усі технологічні процеси, операції мають відповідати системі стандартів безпеки праці, мати відповідні сертифікати і ґрунтуватись на сучасних досягненнях науки і техніки.

Застосування нових сучасних замкнутих безвідходних технологій, механізації, автоматизації, дистанційного управління і комп'ютеризації виробничих процесів сприяють усуненню або значному зменшенню дії шкідливих

і небезпечних виробничих чинників, запобіганню нещасним випадкам, професійним захворюванням й аваріям.

					141. 4367ст3. БР. ПЗ. Р4	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

ВИСНОВКИ

1. Розроблений однофазний асинхронний двигун для систем автоматики відповідає технічному завданню і спроможний виконувати відповідні функціональні задачі.

2. Розраховані показники та характеристики АД показали можливість його ефективного використання, коефіцієнт потужності – 0,46, ККД – 0,58, кратність пускового моменту 3,4, струму – 1,74.

3. Механічна характеристика майже лінійна.

4. Динамічні характеристики показали, що запуск АД виконується за 0,25 с.

					141.4367ст3. БР. ПЗ.	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kimstach O. Optimal starting of the induction motor // ELEKTROTEHNIŠKI VESTNIK. 2022. 89(5), pp. 263-268.
2. Kimstach O., Zhezhelo A., Klymenko Yu. Differences of 2-axes and 3-axes model of induction motor // Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали V міжнар. наук.-прак. конф., 5-7 квіт. 2021 р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ. – 2021. – С. 167-169.
3. Белікова Л. Я. Електричні машини: Навчальний посібник для студ. вищ. навч. закладів /Л. Я. Белікова, В. П. Шевченко. – О.: Наука і техніка, 2012.– 480 с.
4. Кимстач О.Ю. Идентификация параметров уточненной математической модели асинхронного двигателя // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – Том 30 (69) Ч. 1 № 3 2019. – С. 34-39.
5. Кимстач О.Ю., Яростюк Л.Н. Витой трапециевидный магнитопровод для электрических машин и аппаратов торцевого исполнения // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2005. – №2 (401). – С. 101–106.
6. Кімстач О.Ю. Індивідуальний комплект навчально-методичних матеріалів з дисципліни «Електричні машини» (розрахунок асинхронних двигунів малої і середньої потужності загального призначення з короткозамкненим ротором): Методичні вказівки. – Миколаїв: ІЗДО НУК, 2011. – 68 с.
7. Кімстач О.Ю. Індивідуальний комплект навчально-методичних матеріалів з дисципліни «Основи автоматизованого проектування електромеханічних пристроїв та електромеханічних систем»: Методичні вказівки. – Миколаїв: ІЗДО НУК, 2007. – 52 с.
8. Кімстач О.Ю. Індивідуальний комплект навчально-методичних матеріалів з дисципліни «Спеціальні електричні машини»: Методичні вказівки. – Миколаїв: ІЗДО НУК, 2008. – 40 с.
9. Кімстач О.Ю. Проектування асинхронних двигунів малої і середньої потужності загального призначення з короткозамкненим ротором: навчаль-

ний посібник. – Миколаїв; НУК, 2015. – 188 с.

10. Осташевський М. О., Юр'єва О. Ю. Електричні машини і трансформатори: навч. посіб. / за ред. В. І. Мілих. Київ: Каравела, 2018. - 452 с.

11. Півняк Г.Г., Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 327 с.

12. Проектування електричних машин: Навчальний посібник / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д.: НТУ «ДП», 2020. – 408 с.

13. Ткачук В. Електромеханотроніка: Навчальний посібник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2001. – 404 с.

14. Яцун М.А. Електричні машини. Навч. посібник. – Львів, Видавн. Державного університету «Львівська політехніка», 1999, – 427 с.

					141.4367ст3. БР. ПЗ.	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

					141. 4367cm3. БР. ПЗ. Д		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДОДАТОК		
Розроб.	Сербул І.О.						
Керівник	Кімстач О.Ю.						
Н. контр.							
В.о. зав. каф.	Обрубов А.В.						
					Лім.		
					Лист		
					Листів		
					56		
					6		
					НУК		

Розрахунок динамічних характеристик

вихідні дані

$$jd := 0.000145$$

$$f := 50$$

$$u1 := 220$$

$$r1 := 8.51$$

$$x1 := 10.1$$

$$snom := 0.238$$

$$mn := 2.14$$

$$p := 2$$

$$r22 := 52.4$$

$$m1 := 2$$

$$i := \sqrt{-1}$$

$$l1n := 2.17$$

$$rmm := 2.38$$

$$xmm := 98.2$$

Розрахунок статичної моделі

$$ss := 0, 0.001 \dots 1$$

$$Z2(ss) := \frac{r22}{ss}$$

$$c1 := 1 + \frac{x1}{xmm}$$

$$Z1 := r1 + i \cdot x1$$

$$Zmm := rmm + i \cdot xmm$$

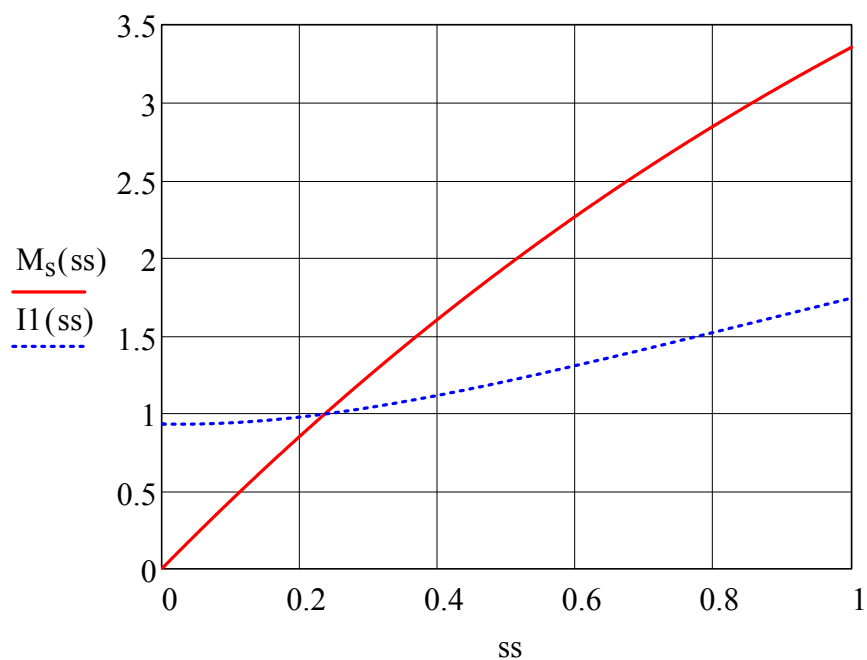
$$Zek(ss) := Z1 + \frac{1}{\frac{1}{Zmm} + \frac{1}{Z2(ss)}}$$

$$\cosf(ss) := \cos(\arg(Zek(ss)))$$

$$Ii1(ss) := \frac{u1}{|Zek(ss)|} \quad Mi(ss) := \frac{m1 \cdot p \cdot u1^2 \cdot r22}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot ss \cdot \left[\left(\frac{c1 \cdot r22}{ss} + r1 \right)^2 + (x1)^2 \right]}$$

$$I_l(ss) := \frac{I_{l1}(ss)}{I_{ln}}$$

$$M_s(ss) := \frac{M_i(ss)}{mn}$$



Розрахунок базових величин

$$w_c := 2 \cdot \pi \cdot \frac{f}{p}$$

$$w_b := w_c$$

$$m_b := \frac{u_l \cdot I_{ln}}{w_b}$$

$$z_b := \frac{u_l}{I_{ln}}$$

$$r_m := \frac{r_{mm}}{z_b}$$

$$j_b := \frac{2m_b}{w_b^2}$$

Розрахунок параметрів динамічної моделі

$$j := \frac{j_d}{j_b}$$

$$rs := \frac{r1}{zb}$$

$$xs := \frac{x1}{zb}$$

$$rr := \frac{r22}{zb}$$

$$xr := 0$$

$$x0 := \frac{\text{Im}(Zmm)}{zb}$$

$$cr := \frac{x0 + xr}{x0}$$

$$cs := \frac{x0 + xs}{x0}$$

$$a := x0 \cdot (cr \cdot cs - 1)$$

$$h := 0.0001$$

----- ■

Початкові дані

$$i := 0, 1.. 2500000$$

$$t_0 := 0$$

$$t_{i+1} = t_i + h$$

$$s_0 = 1$$

$$t_0 = 0$$

$$M_0 = 0$$

$$\psi_{su_0} = 0$$

$$\psi_{ru_0} = 0$$

$$\psi_{sv_0} = 0$$

$$\psi_{rv_0} = 0$$

$$usu = 1$$

$$usv := 0$$

Матриця розрахунку динамічного режиму

$$\begin{pmatrix} isu_i \\ isv_i \\ iru_i \\ irv_i \\ \psi su_{i+1} \\ \psi sv_{i+1} \\ \psi ru_{i+1} \\ \psi rv_{i+1} \\ M_{i+1} \\ s_{i+1} \end{pmatrix} := \begin{bmatrix} \frac{cr \cdot \psi su_i - \psi ru_i}{a} \\ \frac{cr \cdot \psi sv_i - \psi rv_i}{a} \\ \frac{cs \cdot \psi ru_i - \psi su_i}{a} \\ \frac{cs \cdot \psi rv_i - \psi sv_i}{a} \\ \psi su_i + h \cdot [usu - rs \cdot isu_i + \psi sv_i - rm \cdot (isu_i + iru_i)] \\ \psi sv_i + h \cdot [usv - rs \cdot isv_i - \psi su_i - rm \cdot (isv_i + irv_i)] \\ \psi ru_i + h \cdot [-rr \cdot iru_i + s_i \cdot \psi rv_i - s_i \cdot rm \cdot (isu_i + iru_i)] \\ \psi rv_i + h \cdot [-rr \cdot irv_i - s_i \cdot \psi ru_i - s_i \cdot rm \cdot (isv_i + irv_i)] \\ m1 \cdot (\psi su_i \cdot isv_i - \psi sv_i \cdot isu_i) \\ s_i - \frac{\left[M_i - \frac{mn}{mb} \cdot \left(\frac{1 - s_i}{1 - snom} \right)^2 \right]}{j} \cdot h \end{bmatrix}$$

$$I = \sqrt{(isu)^2 + (isv)^2}$$

$$M := M \cdot \frac{mb}{mn}$$

$$\omega := 1 - s$$

$$t := \frac{t}{f}$$

Результат моделювання

