

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка стенда для дослідження асинхронного
конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

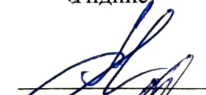
Шифр МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТмз-22-1


Підпис


Вишинська О.А.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

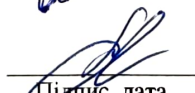
проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тимошенко О.Г.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

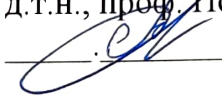
Зав. кафедри МАЕЕС

24 12 2023 р.

Хмельницький 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр і назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр і назва
Спеціалізація _____
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МАЕЕС
д.т.н., проф. Поліщук О.С.
 .2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Вишинська Ольга Анатоліївна

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенда для дослідження асинхронного конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою

керівник роботи д.т.н., проф. Поліщук О.С.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 08 2023 р. № 30

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____
3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики стендів-аналогів та асинхронних двигунів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Огляд та аналіз роботи асинхронних конденсаторних двигунів з трифазною обмоткою. 2. Розробка математичної моделі для АКД з трифазною обмоткою. 3. Розробка стенда для дослідження АКД з трифазною обмоткою. 4. Експериментальні дослідження асинхронного конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Асинхронні конденсаторні двигуни. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Математична модель. Результати розрахунків (A1). Аркуш 3. Стенд для дослідження АКД. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 4. 5. Дослідження АКД. Схема комбінована (A1). Аркуш 6, 7. Дослідження АКД. Графіки. (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз роботи асинхронних конденсаторних двигунів з трифазною обмоткою	до 30.10.22р.	
2. Розробка математичної моделі для АКД з трифазною обмоткою	до 10.11.22р.	
3. Розробка стенда для дослідження АКД з трифазною обмоткою	до 20.11.22р.	
4. Експериментальні дослідження асинхронного конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою	до 07.12.23р.	
5. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент


Підпис

О.А. Вишинська
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

О.С. Поліщук
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові _____

Вишинська Ольга Анатоліївна

2. Тема магістерської роботи Розробка стенда для дослідження асинхронного конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки 96

5. Сучасні асинхронні машини завжди мають досить широке застосування в галузі енергоспоживання і займають великий обсяг безколекторних електричних машин змінного струму. Саме тому найбільш поширене застосування мають асинхронні двигуни, і вони складають велику основу серед усіх електроприводів. Потреби використання асинхронних двигунів доволі широкі, тобто це є величезні системи автоматичного керування потужного виробничого обладнання, а також побутові електроприлади. В роботі здійснено розробку стенду, а також досліджено трифазний асинхронний двигун в якості асинхронного конденсаторного двигуна для роботи від однофазної мережі струму з різними варіантами схем вмикання з точки зору технічних та енергетичних показників. В першому розділі проведено огляд та аналіз роботи асинхронних конденсаторних двигунів з трифазною обмоткою. В другому здійснюється розробка математичної моделі для асинхронного колекторного двигуна з трифазною обмоткою. В третьому розділі проводиться розробка стенда для дослідження АКД з трифазною обмоткою. В четвертому розділі здійснюється експериментальне дослідження асинхронного конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою.

Підпис студента _____

"25" 12 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №2 від "27" 12 2023 р.

Оцінка проекту ЕК _____

Рекомендації ЕК _____

Відмінно 5,0/А
рекомендуємо до вивчення
в навчальній процесі

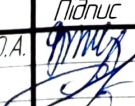


Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____

"27" 12 2023 р.

ЗМІСТ

	Стор
Вступ	6
1. Огляд та аналіз роботи асинхронних конденсаторних двигунів з трифазною обмоткою	8
1.1 Загальні відомості про асинхронні конденсаторні двигун	8
1.2 Огляд досліджень статичних і динамічних режимів роботи асинхронних двигунів	13
1.3 Особливості асинхронних конденсаторних двигунів та вимоги до них	16
1.4 Висновки до першого розділу	28
2 Розробка математичної моделі для АКД з трифазною обмоткою	29
2.1 Робочий процес трифазного асинхронного двигуна	29
2.2 Електромагнітний момент та магнітні втрати	36
2.3 Висновки до другого розділу	40
3 Розробка стенда для дослідження АКД з трифазною обмоткою	42
3.1 Загальна характеристика режимів роботи АКД з трифазною обмоткою	42
3.2 Опис стенда для дослідження характеристик та параметрів асинхронних конденсаторних двигунів	50
3.3 Висновки до третього розділу	53
4 Експериментальні дослідження асинхронного конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою	54
4.1 Загальні відомості про порядок дослідження АКД	54
4.2 Дослідження АКД в трифазному режимі при з'єднанні обмоток "трикутником"	62

MPMA23.00.00.000.ПЗ				
	№ в Арк.	№ докум	Підпис	Дата
Знак		Вишинська О.А.		
Затвер.		Поліщук О.С.		
Контр		Мельничук О.С.		
Затвер.		Поліщук О.С.		
<i>Розробка стенда для дослідження асинхронного конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою</i>				
		Літера	Аркцш	Аркцш в
		4	92	92
ХНУ зр ЕТмз-22-1				

ВСТУП

Актуальність теми.

Сучасні асинхронні машини завжди мають досить широке застосування в галузі енергогосподарства і займають великий обсяг безколекторних електричних машин змінного струму. Саме тому найбільш поширене застосування мають асинхронні двигуни, і вони складають велику основу середусіх електроприводів. Потреби використання асинхронних двигунів доволі широкі, тобто це є величезні системи автоматичного керування потужного виробничого обладнання, а також побутові електроприлади. У відповідності з цим потужність асинхронних двигунів, які випускаються електромашинобудівельною промисловістю, складає діапазон від одиницьват до тисяч кіловат при напрузі джерела живлення від десятків вольт до 10 кВ.

Простота конструкції і висока надійність цього типу машин дозволяють широко використовувати їх у різних сферах виробництва для приводу верстатів, вантажопідіймальних та землерийних машин, компресорів, вентиляторів тощо. В системах автоматичного регулювання застосовуються однофазні та двофазні керувані асинхронні двигуни, асинхронні тахогенератори і сельсини.

Найбільше застосування мають трифазні асинхронні двигуни, розраховані на роботу від джерела промислової частоти. Але практика показує, що існує значна потреба в асинхронних двигунах, особливо для побутових електроприладів. Слуд зазначити, що особлива увага надається застосуванню асинхронних конденсаторних двигунів (АКД) з трифазною обмоткою.

Застосування трифазних обмоток в однофазних асинхронних двигунах, крім можливості виконання їх універсальними, тобто які працюють від трифазної, так і від однофазної мережі, дозволяє вмикання їх на різні величини напруг, за різними схемами і за рахунок цього ще більше розширити їхні властивості і практичне застосування. Значна кількість схем дозволяє застосовувати конденсатори з номінальною напругою нижче напруги мережі, але деякі схеми при пев-

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

них співвідношеннях дозволяють отримати характеристики набагато кращі, ніж у двигунів, спеціально спроєктованих в якості однофазних двигунів, а також знизити встановлену потужність конденсаторів.

Метою роботи є проведення досліджень характеристик та параметрів асинхронних конденсаторних двигунів по різних схемах їх підключення.

Завдання дослідження:

- провести аналіз типових рішень по застосуванню трифазних асинхронних двигунів;

- розробити математичну модель асинхронних конденсаторних двигунів;

- дослідити методику вибору величин ємностей конденсаторів в схемах з різним числом реактивних елементів;

- експериментально дослідити трифазний асинхронний двигун; в якості АКД для роботи від однофазної мережі струму з різними варіантами схем вмикання з точки зору технічних та енергетичних показників;

- розробити рекомендації по застосуванню трифазних асинхронних двигунів; в якості АКД для роботи від однофазної мережі.

Об'єкт дослідження: процес дослідження характеристик та параметрів асинхронного конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою.

Предмет дослідження: є асинхронний конденсаторний двигун з трифазною обмоткою.

Розроблений стенд має практичне значення та може бути використаний в навчальному процесі на відповідній кафедрі.

Результати розробки були представлені на науковій студентській конференції кафедри машин та апаратів, електромеханічних та енергетичних систем у 2023 році. На основі них було підготовлено тези у Збірник наукових праць «Технічна творчість» №7, 2023р.

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

робочої ємності. Тому і залишається актуальною проблема використання трифазних асинхронних конденсаторних двигунів.

Основні задачі теорії і розрахунку конденсаторних двигунів широко розглянуті у джерелах [1, 6, 7, 8, 9].

Асинхронні конденсаторні двигуни являються машинами з явно вираженим несиметричним обертовим магнітним полем, що потребує увімкнення в коло обмотки статора за допомогою конденсаторів.

Основні аналітичні методи дослідження несиметричних машин базуються на теорії поздовжнього і поперечного полів (двох реакцій) і на теорії оберткових полів

Метод двох полів які обертаються в протилежні сторони полягає в наступному, незалежно від числа обмоток, типу і режиму роботи асинхронної машини з синусоїдальною зміною магнітної індукції її магнітне поле в повітряному зазорі можна розглядати як складову з прямого та зворотнього полів з половинними амплітудами. Кількість цих полів дорівнює подвоєному значенню числа фаз. Внаслідок взаємодії прямого і зворотного полів за допомогою струмів відповідних обмоток фаз виникає два обертаючих моменти, спрямованих у протилежні сторони. Результуючий момент визначається їх алгебраїчною різницею [2].

Метод був запропонований і отримав подальший розвиток в роботах та ін. Також у дослідженнях використовується розкладання пульсуючих просторових гармонік магніторушійних сил (МРС) фаз на обертові хвилі, стосовно до еквівалентної ненасиченої машини з повітряним зазором, який забезпечує середнє значення магнітного потоку, даного двигуна. В [3] використовується загальний випадок несиметрії обмотки статора багатофазного асинхронного двигуна, коли кожна з фазних обмоток статора містить різну кількість витків, що має довільну структуру та містить зсув відносно інших фаз на будь-який кут. Саме тому і є певна класифікація напрямів дослідження несиметричних режимів асинхронних двигунів, яка включночає в себе такі складові:

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- робота симетричної асинхронного двигуна при несиметрії напруг на його затискачах або живленні через несиметричні опори;
- робота симетричного асинхронного двигуна при несиметричних схемах з'єднання фазних обмоток;
- робота симетричного асинхронного двигуна з несиметричними опорами у фазах ротора;
- робота однофазного асинхронного двигуна при однофазному роторі.

При появі несиметрії в електричній мережі порушується симетрія струмів в фазах, фазних і лінійних напруг, падінь напруг в елементах системи і інших електромагнітних величин. З цього випливає, що при несиметричному короткому замиканні або появі поздовжньої несиметрії не можна обмежуватися розрахунком тільки однієї фази, як це робиться при дослідженні трифазного короткого замикання. Якщо при цьому виходити з традиційного способу розрахунку, треба було б скласти схему заміщення для всіх трьох фаз даної мережі з урахуванням взаємодукції між ними. Отримана при цьому система керування досить складна, так що такий метод вирішення задачі громіздкий навіть в разі простої схеми.

Порівняно просто несиметричні короткі замикання та інші несиметричні режими можна розраховувати з використанням методу симетричних складових[4].

Метод симетричних складових заснована на розкладанні несиметричних змінних багатозначного двигуна на симетричні системи, кожна з яких створює своє кругове обертове поле впливаючи на ротор машини, і нульову послідовність, що створює пульсуюче поле. Утворений момент на валу двигуна визначається сумою моментів від окремих складових. За даними [5], при однакових вихідних даних усі три методи є еквівалентними і, незважаючи на різні форми запису рівнянь і величини параметрів машини, призводять до тих самих остаточних результатів.

В таблиці 1 показані складові змінних всіх трьох методів і характер поля в повітряному зазорі, який вони створюють у сталому режимі.

Таблиця 1 - Складові змінні в методах дослідження несиметричних машин

Метод двох реакцій	Метод симетричних складових	Метод обертаючих полів
Сума змінних прямої та оберненої послідовностей (еліптичне поле); Нульова послідовність (пульсуюче поле).	Пряма послідовність (кругове поле); Зворотня послідовність (кругове поле); Нульова послідовність (пульсуюче поле).	Прямообертаюче поле (кругове); Зворотньообертаюче поле (кругове).

В практиці проєктування і дослідження асинхронних двигунів найбільш поширений саме метод симетричних складових, оскільки має наступні переваги:

- порівняно легке визначення параметрів схем заміщення;
- отримання простих і зручних математичних виразів робочих і пускових характеристик двигуна при будь-якому режимі його роботи;
- виділення параметрів зворотної послідовності, на основі яких швидко і легко встановлюються кількісні співвідношення параметрів схеми асинхронних двигунів, які забезпечують найкраще використання цих машини;
- достатня наочність при аналізі впливу того чи іншого параметра на показники і характеристики асинхронних двигунів;
- можливість урахування впливу вищих гармонік на кількісні показники машини.

МСС в основному застосовувався для дослідження сталих процесів, [9] у зв'язку з цим, варто відмітити, що можливості по використанню даного методу при складанні математичних моделей для дослідження перехідних процесів, як окремо, так і спільно з іншими методами потребують ще багато вивчень.

1.2 Огляд досліджень статичних і динамічних режимів роботи асинхронних двигунів

Для трифазних систем знаходяться нульова, пряма і зворотна складові струмів. Знаходження цих величин дає можливість в цілому визначити магнітне поле машин. Однак недоліком методу є надзвичайно велика кількість розрахунків, яка ускладнює аналіз процесів. В цій роботі досліджуються однофазні двигуни, їх параметри, а також схеми увімкнення трифазних двигунів в якості однофазних. На підставі техніко-економічного аналізу різного типу однофазних двигунів даються практичні рекомендації щодо застосування машин в побуті, охороні здоров'я, на залізничному транспорті а також у сільському господарстві.

В роботі [6] представлені загальні принципи теорії несиметричних машин на основі ряду перетворень, що призводять до отримання диференціальних рівнянь (ДР) з постійними коефіцієнтами. Пропонується метод аналізу, що дозволяє досліджувати будь-які режими роботи машин змінного струму з урахуванням спектра просторових гармонік.

Застосування МСС приводяться в [7].

Також було встановлено, що метод симетричних складових МСС є частковий, тому що випадок перетворення векторів в білінійному метричному просторі здійснюється методом спряжених напрямів. Отримані таким чином рівняння є зручною математичною моделлю асинхронних двигунів в несиметричних режимах роботи. Але досвід показує, що можливості аналітичних і графоаналітичних методів дослідження АКД далеко не вичерпані.

В [8] на основі розгляду робочих та пускових властивостей трифазних асинхронних двигунів загального призначення при увімкненні їх в однофазну мережу за різними схемами, а також за результатами експериментальних досліджень, підтверджують доцільність використання цих двигунів в якості універсальних трифазно-однофазних машин.

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

В роботі [9] розглядаються задачі синтезу та оптимізації електричних машин малої потужності при автоматизованому проєктуванні, а також розглядаються вибір конструкторсько-технологічних розв'язків та методи побудови орієнтованої для автоматизованого проєктування більш зручної математичної моделі.

Взагалі аналіз ustalених режимів електричних машин з електричною і магнітною асиметрією в [10] доведено, що на основі математичної моделі, що представляє нескінченну систему алгебраїчних рівнянь, якій відповідає нескінченна ланцюгова схема заміщення, але в практичних розрахунках рекомендується використовувати обмежену кількість контурів.

Новий науковий напрямок представлено в роботі [11], де чітко показаний великий внесок у дослідження несиметричних машин змінного струму. Такі дослідження проведені на основі розробки оригінального методу аналітичного дослідження стаціонарних і нестаціонарних електромагнітних процесів в електричних несиметричних машинах змінного струму, які мають магнітну асиметрію (явнополюсність) магнітопроводу та електричні несиметрію фаз, при врахуванні вищих просторових гармонійних магніторушійних сил МРС. Також розроблений універсальний метод аналізу стаціонарних і перехідних процесів, що дозволяє привести диференціальні рівняння з періодичними коефіцієнтами, до розширеної системи рівнянь з постійними коефіцієнтами. При цьому виникає необхідність покрокових та послідовних перетворень, які, крім відомого перетворення методу симетричних складових, охоплюють ще чотири спеціальних перетворення.

В роботі [12] приведена методика розрахунку у перехідних процесах активної, реактивної та повної потужностей, які споживає однофазний двигун з вимикаючою пусковою обмоткою на моделі, що зформована за допомогою системи диференціальних рівнянь. Наводяться вирази для енергетичних показників в динамічних режимах з урахуванням застосування електромеханічних та перехідних процесів.

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

В розвиток методики, в [13] автори розглядають однофазний двигун з пусковим опором і виділяють з сумарного електромагнітного моменту такі складові, як пряму, зворотну та пульсуючу, такий принцип забезпечує переваги при визначенні ролі кожної з них у динамічних, електромеханічних, перехідних процесах.

Автори роботи [14] на основі порівняльного аналізу енергетичних показників двофазного асинхронного двигуна при синусоїдальній і несинусоїдальній напрузі живлення пропонують для оцінки динаміки енергоспоживання використовувати поняття енергетичного ККД.

В роботі [15] розглядаються несиметричні багатofазні машини, в яких математична модель складена в системі просторово-часових координат, вектори фазних струмів не обертаються, але змінюються в просторі часу. Такі рівняння будуються на основі узагальненого вектора поточкозчеплення, який може обертатися з непостійною швидкістю. При проведенні розрахунків пуску несиметричного трифазного двигуна отримані характеристики не співпадають з експериментальними на 20%, тому це пояснюється постійністю параметрів схеми заміщення.

Особливої уваги заслуговують розробки в яких розглядається визначення параметрів нульової послідовності, яка має важливе значення при розрахунках характеристик асинхронних конденсаторних двигунів. Досвід показує, що знехтування впливом нульової послідовності призводить до суттєвих помилок, особливо у двигунів невеликої потужності, які мають малий повітряний зазор. Хоча схеми увімкнення симетричного трифазного АД в однофазну мережу відомі і досліджуються досить широко. і розглянуті в роботах [16]..

У трифазних двигунів практичного виконання опір нульової послідовності майже не залежить від показників ковзання, тобто $Z_0=const$, і воно легко визначається дослідним шляхом.

Нульова складова намагнічує сили створює в повітряному зазорі пульсуюче поле з потрібним числом полюсів. Таким чином, вона створює третю просто-

рову гармоніку поля, яка є нерухомою відносно статора. У фазах обмотки індуються три ЕРС, які співпадають по фазі в часі. Для зменшення втрат від струмів нульової послідовності слід застосовувати діаметральну обмотку статора з малою кількістю пазів на полюс і фазу для того, щоб збільшити повний комплексний опір нульової послідовності.

1.3 Особливості асинхронних конденсаторних двигунів та вимоги до них

Потужність більшості машин невелика, тому в них найчастіше застосовуються двигуни малої потужності. В таблиці 1.2 наведено розподіл машин по споживанню потужності і потужності електродвигунів.

Найбільш широко застосовуються двигуни малої потужності, 60% двигунів мають потужність до 5 кВт. Застосування багатодвигунного приводу призводить до збільшення цих показників. Однак і для машин 13 кВт можуть застосовуватися однофазні двигуни. Потужність побутових машин, як правило, не перевищує 500 Вт. Серійні трифазні двигуни в основному задовільняють всі вимоги для промисловості та побуту.

Таблиця 1.2 – Розподіл виробничих машин по потужності споживання і потужності електродвигунів що використовуються у промисловості та побуті

	Потужність машин, кВт	Кількість машин, %
1	До 0,5	29
2	0,51–2,2	28
3	2,3–4,5	15
4	4,6–13	18,4
5	Більше 13	9,4
6	До 1	40
7	1–5	26
8	5,1–10	7
9	Більше 10	27

Практика показує, що для привода промислових машин більш характерні трифазві двигуни з витісненням струму в роторі. Але з приводу використання витіснення струму в роторі в однофазних двигунах існують суперечливі думки (аркуш [МРМА 23.00.00.000ДО]).

Широкого застосування отримали трифазні асинхронні двигуни в якості однофазних по схемах з пусковою ємністю, з пусковим опором, з пусковою робочою ємністю (рисунок 1.2).

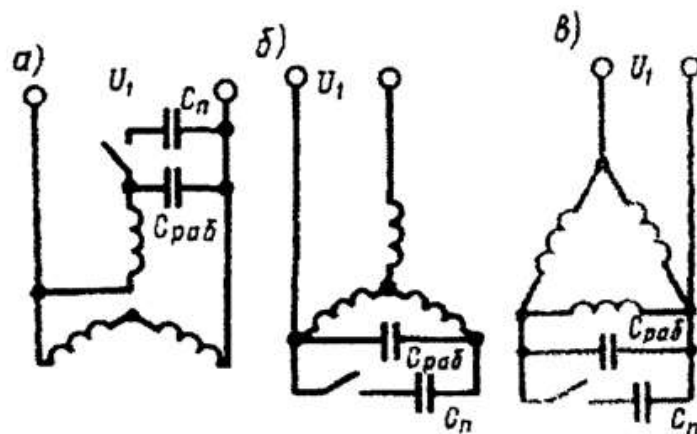


Рисунок 1.2 – Схеми з'єднання обмотки статора трифазного асинхронного двигуна при увімкненні в однофазну мережу

Приведені вище схеми дають можливість використовувати двигуни єдиної серії як однофазної так і трифазної мережі в залежності від її наявності у трифазно-однофазній системі розподілу електроенергії.

Величину пускового моменту конденсаторних двигунів можна змінювати в широких межах. Для приводу вентиляторів і інших машин з вентиляторним моментом опору можна застосувати однофазні двигуни із однією робочою ємністю.

У конденсаторних двигунів на відміну від трифазних переважувальна здатність залежить від величини активного опору обмотки ротора[17].

Однофазними традиційно називають електродвигуни, які живляться однофазною напругою змінного струму, але в цьому терміні немає інформації про кількість фаз обмотки статора, і неодмінно вона при цьому може бути трифазною,

двофазною або однофазною. У асинхронних двигунах з короткозамкненим ротором трифазна обмотка завжди симетрична, двофазна буває як симетричною, так і несиметричною (наприклад, у АКД), однофазна завжди є несиметрична. При увімкненні асинхронного двигуна в однофазну мережу завжди виникає несиметрія режиму, особливо у тому випадку, коли порушуються умови створення кругового обертового поля в у самій машині. В загальному вигляді умова створення кругового обертового поля в машині з будь-яким числом фаз має такий вигляд $\Theta + \beta = \pi$, де β – кут зсуву у часі напруг в електричних радіанах, $\Theta = 2\pi/3$ для трифазних двигунів – кут просторового зсуву осей фаз, також в електричних радіанах.

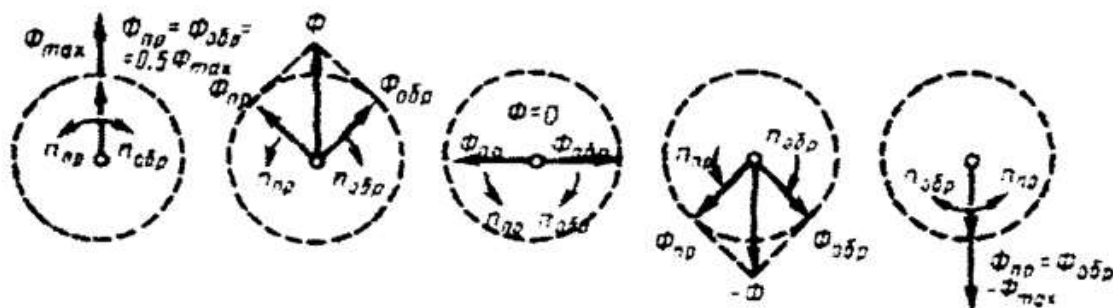


Рисунок 1.3 – Розклад пульсуючого магнітного потоку на два обертових

Амплітуда хвилі індукції у випадку кругового поля не змінюється при обертанні навколо кола повітряного зазору, а при векторному зображенні годографом саме і являється коло.

Обмотка статора асинхронного двигуна з будь-яким числом фаз при живленні від однофазної мережі не створює обертового поля, так як $\beta = 0$. Внаслідок чого магнітне поле буде пульсуючим і нерухомим в повітряному зазорі двигуна.

Фазозсуваючі елементи (ФЗЕ) вмикаються в ланцюг однієї або двох фаз саме для отримання такого зсуву. Однак величина кута β залежить від моменту навантаження. Отже, кругове поле в однофазному асинхронному двигуні може

бути тільки при одному значенні швидкості (ковзання) ротора. Така властивість є найважливішою особливістю однофазних асинхронних двигунів, яка визначає їх енергоспоживання. Робочі точки механічної характеристики однофазного асинхронного двигуна (рис. 1.4) характеризуються еліптичним полем

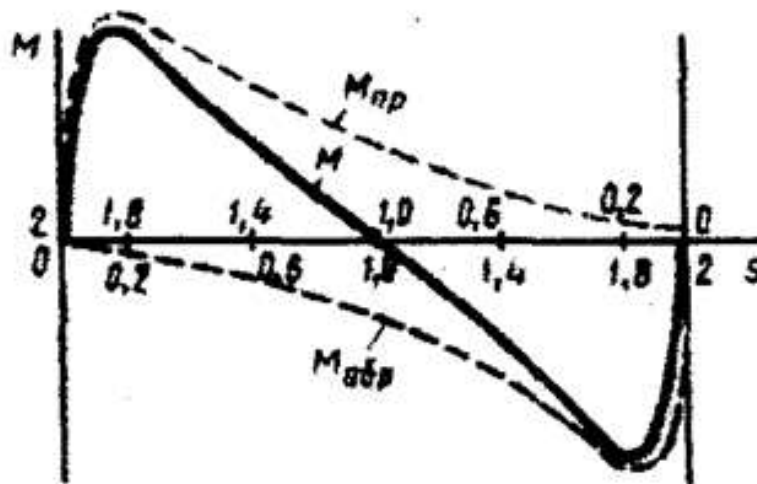


Рисунок 1.4 – Механічні характеристики однофазного асинхронного двигуна

Ротор в руховому режимі обертається в бік більшого по величині прямого поля, а зворотнє створює в машині шкідливий гальмівний момент, при цьому збільшуються споживана потужність та втрати.

Без фазозсувних елементів (при пульсуючому полі) однофазному асинхронному двигуні моменти прямого та зворотного полів можуть бути рівні тільки при нерухомому роторі ($s=1$), тому він і немає пускового моменту. Для його створення в деяких типах двигунів використовується пускова обмотка з фазозрушуючим елементом. Вона розраховується на короткочасну роботу протягом декількох секунд при пуску, після розгону двигуна вимикається пускова обмотка або тільки фазозрушуючий елемент (рис..1.5).

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA23.00.00.000.ПЗ

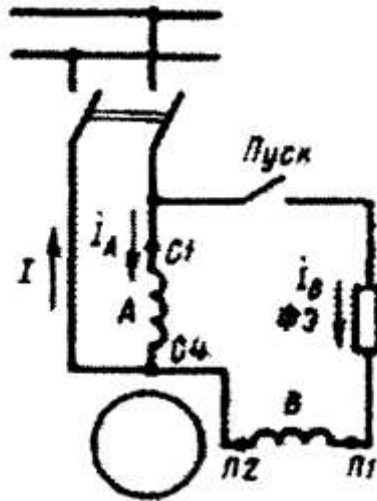


Рисунок 1.5 – Схема однофазного асинхронного двигуна з пусковою обмоткою

Також відомо, що можна застосувати при пуску спільно з конденсатором трансформатор або автотрансформатор (Т), який буде регулювати ефективну ємність (С) за допомогою відцентрового перемикача (П) на рисунку.1.6.

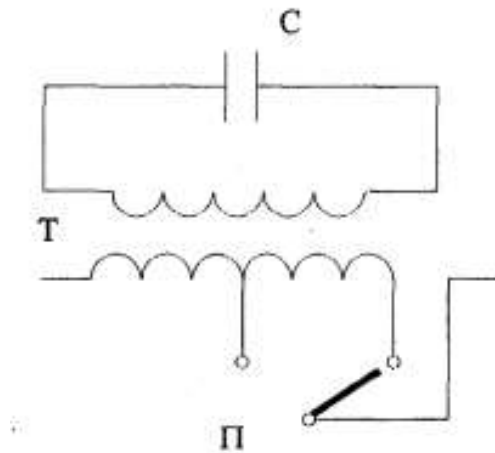


Рисунок 1.6 – Схема перемикання з пускової ємності на роботу.

При цьому визначення величини ємності пускового конденсатора отримати:

- максимального пускового моменту;
- заданого пускового моменту;
- заданої кратності пускового струму.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА23.00.00.000.ПЗ

Арк.
20

Зсув фази на одній з обмоток статора можна також забезпечити при використанні тиристорів, увімкнених зустрічно-паралельно. Змінюючи кут відкриття вентилів, змінюють фазу в широких межах. Такий метод забезпечить зсув фаз від 0° до 180° , але при цьому погіршується форма і зменшується діюче значення напруги фази, що призводить до значних знижень пускового моменту та коефіцієнта використання габаритної потужності базової машини.

Незважаючи на те, що АКД забезпечують максимальне використання габариту, яке в деяких випадках може досягнути 100%. У цьому випадку номінальна потужність їх повинна бути знижена на одну ступінь для забезпечення, насамперед, задовільною перенавантажувальною здатністю.

Додатково можна охарактеризувати інші особливості малопотужних однофазних АД, на відміну від машин середньої та великої потужності:

- більш високі активні опори обмоток і відноності індуктивних опорів розсіювання до індуктивного опору взаємної індукції;
- відносно великі значення намагнічуючого струму і намагнічуючої реактивної потужності;
- достатньо малими величинами втрат в сталі;
- із зменшенням розмірів та номінальної потужності електричних машин погіршуються їх енергетичні показники – ККД і $\cos\phi$;
- більш сильний вплив на характеристики вищих просторових гармонік поля;
- значний вплив технологічних факторів на характеристики і на їх розбіжність;
- більш широка номенклатура асинхронних мікродвигунів.

Відмітними особливостями АКД порівняно з іншими однофазними двигунами є:

- відносна простота конструкції і невисока вартість виробництва;
- відсутність джерела радіоперешкод;
- менша шумність двигуна;

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- простота і надійність в експлуатації;
- велика наростаюча потужність і більш високий ККД;
- високий коефіцієнт потужності, споживання з мережі тільки активного струму, так як джерелом реактивної потужності служить конденсатор.

До недоліків АКД слід віднести:

- низький пусковий момент, що звужує область застосування, для підвищення пускового моменту застосовують додаткові пускові ємності, а це значно збільшує вартість двигуна і знижує його надійність, так як доводиться застосовувати різні вимикаючі пристрої;

– холостий хід асинхронного конденсаторного двигуна є небажаним, так як в конденсаторній фазі різко зростає струм, внаслідок цього збільшуються втрати і нагрівання обмотки.

З метою зниження витрат на виробництво однофазні АД загального призначення проектуються на базі двигунів основного трифазного виконання єдиних серій з повним використанням їх магнітопровода і конструктивних частин. При такій уніфікації задача проектування зводиться до часткової задачі – оптимізації обмоткових даних і параметрів фазозсувних елементів схем однофазного увімкнення, виходячи з вимоги технічного завдання.

З досвіду проектування серії 4А для однофазного використання з робочим конденсатором найбільш економічно доцільна схема з трифазними обмотками. Техніко-економічну доцільність максимальної уніфікації однофазних двигунів з базовими трифазними обумовлюють:

- різке зниження вартості підготовки виробництва;
- високий технічний рівень однофазних двигунів;
- зниження термінів і вартості розробки;
- зниження термінів впровадження;
- зручність в експлуатації за рахунок використання універсальних трифазно-однофазних двигунів;

поля, то при виконанні з трифазною обмоткою така можливість загальному випадку відсутня. На перший погляд це повинно приводити до суттєвого погіршення властивостей двигунів і до зниження їх використання. Однак практика проектування показує, що це не відбувається, і двигуни з трифазною обмоткою є за своїми властивостями приблизно рівноцінними двигунам з двофазними обмотками. Це обумовлено двома основними причинами. Перша з причин полягає в тому, що при відповідному виборі величини ємності для двигуна з трифазною обмоткою відхилення форми поля від кругової зазвичай не настільки велике, щоб викликати значне погіршення показників двигуна. До того ж і у двигуна з двофазною обмоткою неминучі неточності вибору параметрів схеми і виробничий розкид призводять до того, що фактична форма поля буде в більшій або меншій мірі відрізнятися від кругової. Друга причина пов'язана з тим, що незалежний вибір чисел витків обмоток двофазного двигуна дозволяє отримати кругове поле тільки при одному визначеному значенні ковзання. При будь-якій зміні ковзання поле стає еліптичним, що призводить до погіршення показників двигуна. Для поліпшення цих показників у ряді випадків виникає потреба коригувати вибір параметрів схеми переміщуючи режим кругового поля з області номінального навантаження і інші точки механічної характеристики.

У результаті зазначених причин створювані переваги незалежним вибором числа витків двофазних обмоток виявляються практично втраченими.

До числа актуальних науково-дослідних напрямів по однофазних двигунів можна віднести наступні:

- дослідження застосовності однофазних двигунів в якості приводу в різних механізмах;
- дослідження по створенню методик розрахунку;
- дослідження та вибір типу обмоток;
- дослідження оптимальних співвідношень чисел пазів статора і ротора;
- дослідження віброакустичних характеристик;

- дослідження надійності;
- аналіз технічного рівня і розробка технічних вимог на пускозахисні реле і робочі конденсатори для однофазних двигунів;
- дослідження перехідних процесів.

Основними нормованими показниками однофазних двигунів є:

- відношення початкового пускового обертаючого моменту до номінального $M_{п} / M_{ном}$
- відношення мінімального обертаючого моменту до номінального ; $M_{min} / M_{ном}$
- відношення початкового пускового струму до номінального – $I_{п} / I_{ном}$.

Зазначені показники в поєднанні з енергетичними характеристиками, масою та габаритами визначають технічний рівень однофазних двигунів. Характерною особливістю в конструктивному виконанні однофазних двигунів, є розташування фазозсувних елементів і пускозахисні апаратури безпосередньо на двигунах, що значно спрощує монтаж і експлуатацію однофазних двигунів. За рахунок використання корпусів двигунів шляхом екструзії легких металів, які повністю відповідають вимогам до міцності, є корозостійкими, мають гладку поверхню, хороше співвідношення маси на одиницю потужності і мають високу розмірну стійкість, в них досягається сучасний рівень дизайну і підвищується конкурентоспроможність усього двигуна. В плані підвищення експлуатаційних якостей доцільно застосування однакові підшипникові щити, що надасть оптимальний вплив на складські запаси і буде сприяти забезпеченню споживачів в найкоротші терміни комплектуючим деталями і вузлами.

Так як однофазні двигуни мають невеликий пусковий момент доводиться застосовувати на час пуску додаткові ємності, які після розгону двигуна до номінальної повинні бути вимкнені. Для цього застосовуються різні пристрої, працюють у функції зміни струму в обмотках двигуна, напруги або часу. Найбільшого поширення у сучасних приводах з однофазними двигунами отримали автоматичні пристрої, що працюють у функції струму в робочих обмотках двигу-

нів (реле пускозахисне), а також звичайні кнопкові вимикачі, керовані вручну при пуску двигунів (кноппопускач). Однак дані типи пускачів не завжди відповідають сучасним вимогам автоматичного вимикання і можливості вбудовування вимикаючого пристрою в корпус двигунів, забезпечуючим конкурентоспроможність двигуна в цілому. У зв'язку з цим для однофазних двигунів серії 4А була розроблена нова серія пускозахисних реле типу РПЗ-12(ТУ16-523.586.80. Реле пускозахисні серії РПЗ–12), які відрізняються високою надійністю, здатністю працювати в будь-якому просторовому положенні, чого не було у попередніх конструкціях. Реле має 20 типономіналів, охоплює по верхній межі номінальних струмів значення до 5,5 А і призначені для роботи з однофазними двигунами до 1,5 кВт.

Слід зазначити, що такий досить простий і надійний вимикальний пристрій, як відцентровий вимикач, так само до цього часу знаходить широке застосування у вітчизняних і зарубіжних однофазних двигунах.

При виборі того або іншого виконання АКД слід керуватися наступними міркуваннями:

- умовами роботи в заданому типі приводу, тобто з'ясувати, чи є необхідність у закритому або захищеному виконанні;
- необхідність закритого виконання часто диктується вимогою малошумності двигуна;
- деякі з споживачів мікродвигунів загального призначення ставлять основною умовою невисокі температури зовнішніх частин;
- пусковими характеристиками;
- режимом роботи;
- габаритними і встановлювальними розмірами двигуна.

При цьому кожна зі схем увімкнення АД в однофазну мережу має як переваги, так і недоліки. Однак деякі вимоги не завжди можливо задовольнити спільно з іншими, наприклад невисоку температуру зовнішніх частин двигуна і ма-

лошумність, так як вентилятор є головним джерелом шуму. Закриті мікродвигуни практично завжди є малошумними.

Загальні технічні характеристики АКД складаються з декількох складових:

- характеристик власне двигуна;
- характеристик пускозахисного пристрою;
- пускових характеристик конденсаторів;
- характеристик робочих конденсаторів.

Технічні дані пускових конденсаторів типу К50-19, випускаються серійно в даний час досить високі, чого не можна сказати про номенклатуру робочих конденсаторів, яка не відповідає сучасним вимогам.

Номінальні значення ємностей і номінальних напруг приведено в табл.1.3.

Таблиця 1.3 – Номінальні значення ємностей і номінальних напруг

Номінальна напруга, В	Номінальна ємність, мкФ
160	3,3; 4,7; 8,8; 10; 15; 22; 33; 47
250	1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8; 10; 15; 22; 33
500	0,47; 0,68; 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8; 10

Промислове освоєння нової серії конденсаторів забезпечить конкурентоспроможність конденсаторних двигунів. Конденсатори будуть мати ущільнену конструкцію циліндричної форми, розраховані на частоту 50 і 60 Гц. Номінальні значення ємностей і номінальних напруг наведені в таблиці 3.

Вимоги, до конденсаторів при кріпленні їх на корпусі двигуна:

- вібраційні навантаження в діапазоні частот 1-г200 Гц;
- лінійні навантаження з прискоренням 25%.

Термін служби при +55°C складе не менше 20000 год. при температурі +70°C - не менше 5000 год..

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.4 Висновки до першого розділу

1. Асинхронні двигуни отримали широке застосування в сучасних електричних установах і являються самим розповсюдженим видом безколекторних електричних машин змінного струму.

Область їх застосування дуже широка – від привода пристроїв автоматики до електро побутових приладів.

2. На особливу увагу застосовують однофазні асинхронні конденсаторні двигуни з трифазною обмоткою.

3. З'ясовано, що в основі принципу дії асинхронних двигунів є утворення статором обертового магнітного поля.

4. Частота обертання ротора n_2 завжди менша частоти обертання обертового поля n_1 так як тільки в цьому випадку відбувається наведення ЕРС в обмотці ротора АД.

5. Особливістю АКД являється наявність двох магнітних потоків статора: прямого, що обертається у напрямку обертання ротора і зворотнього.

6. Зворотнє поле створює зворотній потік, який діє на ротор і результуюче магнітне поле є еліптичним.

7. Для створення обертового магнітного поля струми в обмотках статора повинні бути зсунуті по фазі один відносно іншого. Для цього застосовують фазозсуваючі елементи в якості яких можуть бути застосовані конденсатори.

8. Встановлено, що найважливішою умовою створення обертового магнітного поля статора є правильний вибір номіналу конденсаторів

9. У зв'язку з тим, що при дослідженні статичних режимів АКД застосовуються різні методи, враховуючи метод МСС, які є досить громіздкими, представляється актуальним застосувати метод безпосереднього навантаження, який буде застосовуватися у навчальному процесі.

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОНДЕНСАТОРНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

2.1 Робочий процес трифазного асинхронного двигуна

2.1.1 Рівняння напруг асинхронного двигуна

У процесі роботи асинхронного двигуна струми в обмотках статора і ротора створюють дві магніторушійні сили; МРС статора і МРС ротора. Спільною дією ці МРС наводять у магнітній системі двигуна результуючий магнітний потік, що обертається відносно статора із синхронною частотою обертання n_1 . Цей магнітний потік можна розглядати як такий що складається з основного потоку Φ , зчепленого як з обмоткою статора, так і з обмоткою ротора (магнітний потік взаємоіндукції), і двох потоків розсіювання: $\Phi_{\sigma 1}$ – потоку розсіювання обмотки статора і $\Phi_{\sigma 2}$ – потоку розсіювання обмотки ротора. Розглянемо, які ЕРС наводять зазначені потоки в обмотках двигуна (аркуш [МРМА 23.00.00.000РР]).

Основний магнітний потік Φ обертовий з частотою n_1 , наводить у нерухомій обмотці статора ЕРС E_1 , значення якої визначається виразом $E_1 = 4.44 f_1 \Phi \omega_1 k_{o\sigma 1}$.

Магнітний потік розсіювання $\Phi_{\sigma 1}$ наводить в обмотці статора ЕРС розсіювання, значення якої визначається індуктивним спаданням напруги в обмотці статора:

$$E_{\sigma 1} = -jI_1 x_1, \quad (2.1)$$

де x_1 – індуктивний опір розсіювання фазної обмотки статора, Ом.

Для ланцюга обмотки статора асинхронного двигуна, ввімкненої в мережу з напругою U_1 , запишемо рівняння напруг по другому закону Кіргофа:

$$U_1 + E_1 + E_{\sigma 1} = I_1 r_1, \quad (2.2)$$

де $I_1 r_1$ – падіння напруги в активному опорі обмотки статора r_1 .

Після переносу ЕРС E_1 та $E_{\sigma 1}$, у праву частину рівняння (2.2) з врахуванням (2.1) одержимо рівняння напруг обмотки статора асинхронного двигуна:

$$U_1 = (-E_1) + jI_1 x_1 + I_1 r_1, \quad (2.3)$$

Порівнявши отримане рівняння з рівнянням (2.1), бачимо, що воно не відрізняється від рівняння напруг для первинного ланцюга трансформатора.

У процесі роботи асинхронного двигуна ротор обертається у бік обертання поля статора з частотою n_2 . Тому частота обертання поля статора відносно ротора дорівнює різниці частот обертання $(n_1 - n_2)$.

Основний магнітний потік Φ , обгортаючи ротор з частотою обертання $n_s = (n_1 - n_2)$, індукує в обмотці ротора ЕРС

$$E_{2s} = 4,44 f_2 \Phi \omega_2 k_{o\delta 2}, \quad (2.4)$$

де f_2 – частота ЕРС E_{2s} -у роторі, Гц;

ω_2 – число послідовно з'єднаних витків однієї фази обмотки ротора;

$k_{o\delta 2}$ – обмотувальний коефіцієнт обмотки ротора.

Частота ЕРС (струму) в обмотці обертаючогося ротора пропорційна частоті обертання магнітного поля відносно ротора $n_s = (n_1 - n_2)$, що називається частотою ковзання:

$$f_2 = p n_s / 60 = p(n_1 - n_2) / 60,$$

або

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \frac{n_1}{n_1} = \frac{p n_1}{60} \frac{n_1 - n_2}{n_1} f_1 s, \quad (2.5)$$

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

тобто частота ЕРС (струму) ротора є пропорційною до ковзання. Для асинхронних двигунів загальпромислового призначення ця частота звичайно невелика і при $f_1=50$ Гц не перевищує декількох герців, так при $s=5\%$ частота $f_2=50 \cdot 0,05=2,5$ Гц. Підставивши (2.5) у (2.4), одержимо:

$$E_{2s} = 4,44f_2 \Phi s w_2 k_{o62} = E_2 s, \quad (2.6)$$

де E_2 – ЕРС, наведена в обмотці ротора при ковзанні $s=1$, тобто при нерухомому роторі, В.

Потік розсіювання ротору $\Phi_{\sigma 2}$ індукує в обмотці ротора ЕРС розсіювання, значення якої визначається індуктивним падінням напруги в цій обмотці:

$$E_{\sigma 1} = -j\dot{I}_2 x_2 s, \quad (2.7)$$

де x_2 – індуктивний опір розсіювання обмотки ротора при нерухомому роторі.

Обмотка ротора асинхронного двигуна електрично не зв'язана з зовнішньою мережею і до неї не підводиться напруга. Струм у цій обмотці з'являється винятково за рахунок ЕРС, наведеної основним магнітним потоком Φ . Тому рівняння напруг для ланцюга ротора асинхронного двигуна по другому закону Кірхгофа має вигляд:

$$E_{2s} + E_{\sigma 2} = I_2 r_2,$$

де r_2 – активний опір обмотки ротора..

З урахуванням (2.6) і (2.7) одержимо:

$$E_{2s} - iI_2 x_2 s - I_2 r_2 = 0. \quad (2.8)$$

Розділивши всі рівності, що додаються, (2.8) на s , одержимо:

$$E_2 - iI_2x_2 - I_2r_2/s = 0,$$

Зазначена формула є рівнянням напруг для обмотки ротора.

2.1.2 Рівняння магніторушійних сил (МРС) і струмів асинхронного двигуна

Основний магнітний потік Φ в асинхронному двигуні створюється спільною дією МРС обмоток статора F_1 і ротора F_2 :

$$\Phi = (F_1 + F_2)/R_m = F_0/R_m, \quad (2.10)$$

де R_m – магнітний опір магнітного ланцюга двигуна потоку Φ ; F_0 – результуюча МРС двигуна, яка чисельно рівна МРС обмотки статора в режимі холостого ходу (х.х.);

$$F_1 = 0,45m_1I_0w_1k_{o61}/p, \quad (2.11)$$

де I_0 – струм х.х. в обмотці статора, А.

МРС обмоток статора і ротора на один полюс у режимі навантаженого двигуна:

$$F_1 = 0,45m_1I_1w_1k_{o61}/p,$$

$$F_2 = 0,45m_2I_2w_2k_{o62}/p, \quad (2.12)$$

де m_2 – число фаз в обмотці ротора;

k_{o62} – обмотувальний коефіцієнт обмотки ротора.

При змінах навантаження на валу двигуна міняється струм у статорі I_1 і роторі I_2 . Але основний магнітний потік Φ при цьому залишається незмінним, тому

що напруга, підведена до обмотки статора, незмінна ($U_1=const$) і майже цілком зрівноважується ЕРС E_1 обмотки статора:

$$U_1 \approx (-E_1). \quad (2.13)$$

Тому що ЕРС E_1 пропорційна основному магнітному потоку Φ то останній при змінах навантаження залишається незмінним. Цим і пояснюється те, що, незважаючи на зміни МРС F_1 та F_2 , результуюча МРС залишається незмінною, тобто $F_0=F_1+F_2=const$.

Підставивши замість F_0 , F_1 , F_2 їх значення по (2.11) та (2.12), одержимо

$$0,45m_1I_0w_1k_{o61}/p = 0,45m_1I_1w_1k_{o61}/p + 0,45m_2I_2w_2k_{o62}/p$$

Розділивши цю рівність на $m_1\omega_1k_{o61}/p$, визначимо рівняння струмів асинхронного двигуна:

$$I_0 = I_1 + I_2 \frac{m_2\omega_2k_{o62}}{m_1\omega_1k_{o61}} = I_1 + I_2', \quad (2.14)$$

де

$$I_2' = I_2 \frac{m_2w_2k_{o62}}{m_1w_1k_{o61}}, \quad (2.15)$$

Рівняння (2.15) є струмом ротора, приведеного до обмотки статора.

Перетворивши рівняння (2.14), одержимо рівняння струмів статора асинхронного двигуна

$$I = I_0 + (-I_2'). \quad (2.16)$$

електричним зв'язком ланцюгів статора і ротора. Активний опір $r'_2(I-s)/s$ можна розглядати як зовнішній опір, увімкнений в обмотку нерухомого ротора. У цьому випадку асинхронний двигун аналогічний трансформатору, що працює на активне навантаження. Опір $r'_2(1-s)/s$ – єдиний змінний параметр схеми. Значення цього опору визначається ковзанням, а отже, механічним навантаженням на валу двигуна. Так, якщо навантажувальний момент на валу двигуна $M_2=0$, то ковзання $s \approx 0$. При цьому $r'_2(1-s)/s = \infty$, що відповідає роботі двигуна в режимі х.х. Якщо ж навантажувальний момент на валу двигуна перевищує його обертаючий момент, то ротор зупиняється ($s=1$). При цьому $r'_2(1-s)/s=0$, що відповідає режиму к. з. асинхронного двигуна.

Більш зручною для практичного застосування є Г-подібна схема заміщення (рисунок 2.2, б), у якій намагнічуючий контур, ($Z_m = r_m + jx_m$) винесений на вхідні затискачі схеми заміщення. Щоб при цьому намагнічуючий струм, I_0 не змінив свого значення, у цей контур послідовно вмикають опори обмотки статора r_1 і x_1 . Отримана в такий спосіб схема зручна тим, що вона складається з двох паралельно з'єднаних контурів: намагнічуючого зі струмом I_0 , і робочого зі струмом – I_2 .

Розрахунок параметрів робочого контуру Г-подібної схеми заміщення вимагає уточнення, що досягається введенням у розрахункові формули коефіцієнта c_1 (рисунок 2.2, б), що представляє собою відношення напруги мережі U_1 до ЕРС статора E_1 при ідеальному холостому ході ($s=0$). Так як в цьому режимі струм холостого ходу асинхронного двигуна дуже малий, то U_1 виявляється лише трохи більше, ніж ЕРС E_1 , а їхнє відношення $c_1 = U_1/E_1$ мало відрізняється від одиниці. Для двигунів потужністю 3 кВт і більш $c_1 = 1,05 \div 1,02$, тому з метою полегшення аналізу виразів, що характеризують властивості асинхронних двигунів і спрощення практичних розрахунків, приймемо $c_1 = 1$. Виниклі при цьому неточності не перевищать значень, припустимих при технічних розрахунках. Наприклад, при розрахунку струму ротора I_2 ця помилка складе від 2 до 5 % (менші значення відносяться до двигунів більшої потужності).

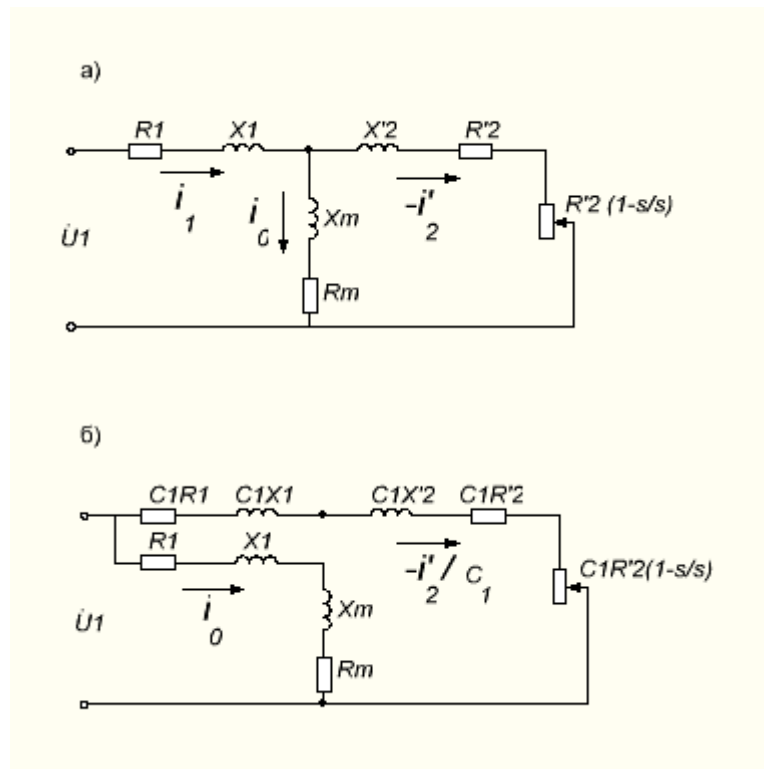


Рисунок 2.2 – Схеми заміщення асинхронного двигуна

Скориставшись Г-подібною схемою заміщення і прийнявши $c_1=1$, запишемо вираз струму в робочому контурі:

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{[r_1 + r'_2 + r'_2(1-s)/s]^2 + (x_1 + x'_2)^2}} \quad (2.17)$$

2.2 Електромагнітний момент та магнітні втрати

Електромагнітний момент асинхронного двигуна створюється взаємодією струму в обмотці ротора з обертовим магнітним полем. Електромагнітний момент M пропорційний електромагнітній потужності:

$$M = P_{\text{ВМ}}/\omega_1 \quad (2.18)$$

де

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi f_1}{p}$$

Дане рівняння є кутовою синхронною швидкістю обертання.

Підставивши в (2.11) значення електромагнітної потужності по (2,5), одержимо:

$$M = P_{\text{вм}}/(w_1 s) = m_1 I_2'^2 r_2' / (w_1 s) \quad (2.19)$$

тобто електромагнітний момент асинхронного двигуна пропорційний і потужності електричних втрат в обмотці ротора.

Якщо значення струму ротора по виразу (2.17) підставити в (2.18), то одержимо формулу електромагнітного моменту асинхронної машини (Н·м):

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2' p}{2\pi f_2 s [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]} \quad (2.19)$$

Параметри схеми заміщення асинхронної машини r_1, r_2', x_1 та x_2' є постійними і, тому що їхнє значення при змінах навантаження машини залишається практично незмінним. Також постійними можна вважати напругу на обмотці фази статора U_1 і частоту f_1 . У виразі моменту M єдина змінна величина – ковзання s , що для різних режимів роботи асинхронної машини може приймати різні значення в діапазоні від $+\infty$ до $-\infty$.

Розглянемо залежність моменту від ковзання $M=f(S)$ при $U_1=const, f_1=const$ і постійних параметрах схеми заміщення. Цю залежність прийнято називати механічною характеристикою асинхронної машини. Аналіз виразу (2.17), що представляє собою аналітичний вираз механічної характеристики $M=f(S)$, показує, що при значеннях ковзання $s=0$ та $s=\infty$ електромагнітний момент $M=0$. З цього випливає, що механічна характеристика $M=f(S)$ має максимум.

Для визначення величини критичного ковзання $s_{кр}$, що відповідає максимальному моменту, необхідно взяти першу похідну від (2.19) і прирівняти її нулю: $dM/ds=0$. У результаті

$$s_{кр} = \pm \frac{r_2'}{\sqrt{r_2^2 + (x_1 + x_2')^2}} \quad (2.20)$$

Підставивши значення критичного ковзання (по 2.17) у вираз електромагнітного моменту (2.18), після ряду перетворень одержимо вираз максимального моменту (Н·м):

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 U_1^2 p}{4\pi f_1 [\pm r_1 \sqrt{r_2^2 + (x_1 + x_2')^2}]} \quad (2.21)$$

У (2.20) і (2.21) знак плюс відповідає руховому, а знак мінус – генераторному режиму роботи асинхронної машини.

Для асинхронних машин загального призначення активний опір обмотки статора r_1 , набагато менше суми індуктивних опорів: $r_1 \ll (x_1 + x_2')$. Тому, зневажаючи величиною r_1 , одержимо спрощені вираження критичного ковзання

$$s_{кр} \approx \pm \frac{r_2'}{(x_1 + x_2')} \quad (2.22)$$

і максимального моменту (Н·м)

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 U_1^2 p}{4\pi f_1 (x_1 + x_2')} \quad (2.23)$$

Аналіз виразу (2.20) показує, що максимальний момент асинхронної машини в генераторному режимі більше, ніж у руховому ($M_{max \text{ г}} > M_{max \text{ д}}$). На рисунку 2.1 показана механічна характеристика асинхронної машини $M=f(s)$ при $U_1 = \text{const}$. На цій характеристиці зазначені зони, що відповідають різним режимам роботи: руховий режим ($0 < s \leq 1$), коли електромагнітний момент M є оберта-

ючим; генераторний режим ($-\infty < s < 0$) і гальмовий режим протиприпиненням ($1 < s < +\infty$), коли електромагнітний момент M є гальмуючим (рис.2.3).

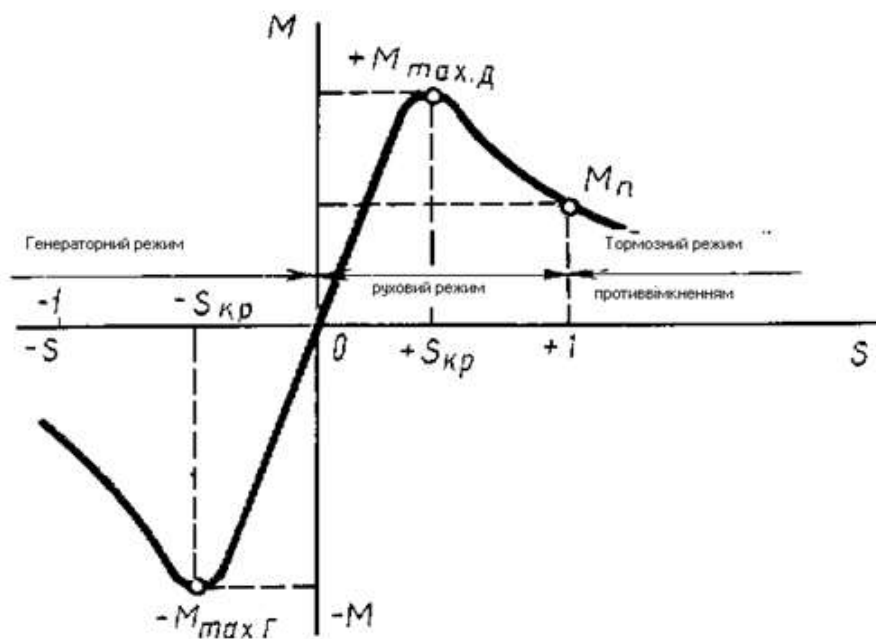


Рисунок.2.3– Залежність режимів роботи асинхронної машини від ковзання

З (2.17) випливає, що електромагнітний момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату напруги мережі: $M \equiv U_1^2$. Це в значній мірі відбивається на експлуатаційних властивостях двигуна: навіть невелике зниження напруги мережі викликає помітне зменшення обертаючого моменту асинхронного двигуна. Наприклад, при зменшенні напруги мережі на 10% по відношенню до номінального ($U_1 = 0,9 U_{1ном}$) електромагнітний момент двигуна зменшується на 19 %: $M' = 0,9^2 M = 0,81M$, де M – момент при номінальній напрузі мережі, а M' – момент при зниженій напрузі.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA23.00.00.000.ПЗ

Арк.
39

2.3 Висновки до другого розділу

1. Основний магнітний потік статора, що обертається з частотою n_2 наводить в обмотці статора ЕРС E_1 ,

Магнітний потік розсіювання наводить ЕРС $E_{\sigma 1}$

Згідно другого закону Кірхгофа отримуємо рівняння напруги обмотки статора.

2. Основний магнітний потік індукує в обмотці ротора ЕРС E_{2s} і в кінцевому рахунку отримуємо рівняння напруги для обмотки ротора.

3. Із рівняння струмів слідує що струм статора АД має дві складові; постійну намагнічуючу і змінну компенсуючу МРС ротора.

4. З'ясовано, що струм ротора створює на магнітну систему двигуна розмагнічуючу дію.

5. Зміна механічного навантаження на валу двигуна супроводжується відповідною зміною струму в обмотці статора, так як зміна навантаження викликає зміну ковзання s , це (в свою чергу) впливає на ЕРС обмотки ротора, а значить на струм ротора.

6. Основою для побудови векторної діаграми являються рівняння струмів і напруг.

7. З'ясовано, що рівнянням напруг і струмів, а також векторній діаграмі АКД відповідає електрична схема заміщення асинхронного двигуна.

8. Встановлено, що найбільш зручною для практичного застосування являється Г-подібна схема заміщення.

9. З'ясовано, що електромагнітний момент АКД пропорційний квадрату напруги мережі, що в значній мірі відображає експлуатаційні властивості двигуна: навіть невелике зниження напруги в мережі викликає помітну зміну обертового моменту.

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

10. Встановлено, що для стійкої роботи двигуна необхідно, щоб сума навантажувальних моментів, що діють на ротор, була менша навантажувального моменту.

11. Заслуговує на особливу увагу те, що робота двигуна при ковзанні менше критичною являється найбільш економічною.

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГУНА

3.1 Дослідне визначення характеристик і параметрів асинхронного конденсаторного двигуна

3.1.1 Режими роботи асинхронного конденсаторного двигуна

В відповідності з принципом зворотності електричних машин асинхронні машини можуть працювати як в двигунному, так і в генераторному режимах. Крім того, можливий ще і режим електромагнітного гальмування противмиканням.

Двигунний режим. При ввімкненні обмотки статора в мережу трифазного струму виникає обертове магнітне поле, яке, зчіплюючись з короткозамкнутою обмоткою ротора, наводить в ній ЕРС. При цьому в стержнях обмотки ротора з'являються струми. В результаті взаємодії цих струмів з обертальним магнітним полем на роторі виникають електромагнітні сили. Сукупність цих сил створює електромагнітний обертальний момент, під дією якого ротор асинхронного двигуна приходить в обертання з частотою $n_2 < n_1$ в сторону обертання поля статора. Якщо вал асинхронного двигуна механічно з'єднати з валом будь-якого виконавчого механізму ВМ (верстату, підйомного крану і т.п.), то обертовий момент двигуна M , здолавши протидіючий (навантажувальний) момент $M_{нав}$ виконавчого механізму, приведе механізм в обертання. Отже, електрична потужність P_1 , поступаючи в двигун з джерела, в основній своїй частині перетвориться в механічну потужність P_2 і передається виконуючому механізму ВМ

Важливим параметром асинхронної машини є ковзання – величина, яка характеризує різницю частот обертання ротора і обертального поля статора

$$s = (n_1 - n_2)/n_1 \quad (3.1)$$

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Ковзання виражають у долях одиниці чи в процентах. В останньому випадку величину, отриману по (3.1), слід помножити на 100.

Очевидно, що із збільшенням навантажувального моменту на валу асинхронного двигуна частота обертання ротора n_2 зменшується. Отже, ковзання асинхронного двигуна залежить від механічного навантаження на валу двигуна і може змінюватись в діапазоні $0 < s \leq 1$.

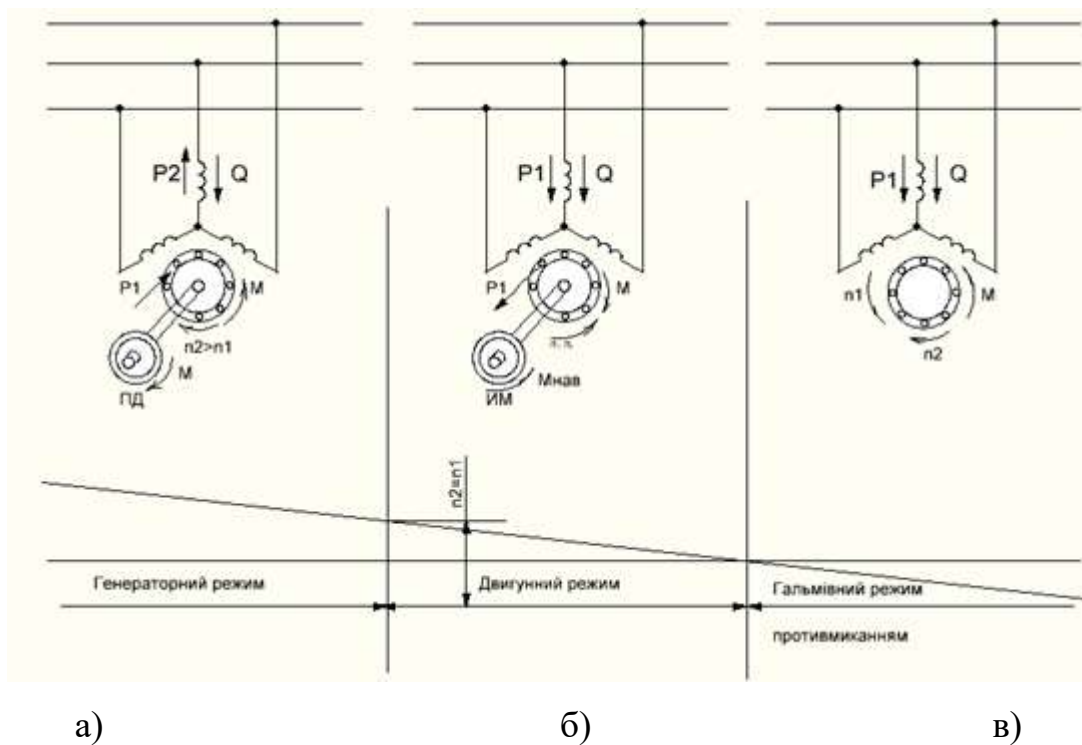


Рисунок. 3.1.– Режими роботи асинхронної машини.

При ввімкненні асинхронного двигуна в мережу в початковий момент часу ротор під впливом сил інерції нерухомий ($n_2=0$). При цьому ковзання s дорівнює одиниці. В режимі роботи двигуна без навантаження на валу (режим холостого ходу) ротор обертається з частотою лише ненабагато меншою синхронної частоти обертання n_1 і ковзання мало відрізняється від 0 ($s \approx 0$). Ковзання відповідне номінальному навантаженню двигуна, називають номінальним ковзанням $s_{ном}$. Для асинхронних двигунів загального призначення $s_{ном}=1 \div 8\%$ при цьому для двигунів великої потужності $s_{ном}=1\%$, а для двигунів малої потужності $s_{ном}=8\%$.

Перетворивши вираз, (3.1) отримаємо формулу для визначення асинхронної частоти обертання (об/хв):

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

жаючи електричними втратами в роторі в режимі холостого ходу, можна прийняти $Pe_2=0$, а тому $s_0 \approx 0$ і $n_{20} \approx n_1$. В міру збільшення навантаження на валу двигуна відношення (3.4) росте, досягаючи значень 0,01–0,08 при номінальному навантаженні. Відповідно до цього залежність $n_2=f(P_2)$ являє собою криву, слабо нахилена до осі абсцис. Однак при збільшенні активного опору ротора r'_2 кут нахилу цієї збільшується, в випадку зміни частоти обертання n_2 при коливаннях навантаження P_2 зростають. Пояснюється це тим, що зі збільшенням r'_2 зростають електричні втрати в роторі.

Залежність $M_2=f(P_2)$. Залежність корисного моменту на валу двигуна M_2 від корисної потужності P_2 визначається вираження:

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{60P_2}{2\pi n_2} = 9,55 \frac{P_2}{n_2} \quad (3.5)$$

де P_2 – корисна потужність, Вт; $\omega_2=2\pi f_2/60$ кутова частота обертання ротора .

З цього виразу випливає, що якщо $n_2=const$, то графік $M_2=f_2(P_2)$ являє собою пряму лінію. Але в асинхронному двигуні зі збільшенням навантаження P_2 частота обертання ротора зменшується, а тому корисний момент на валу M_2 зі збільшенням навантаження зростає трохи швидше навантаження, а отже, графік $M_2=f_2(P_2)$ має криволінійний вигляд.

Залежність $\cos\varphi_1(P_2)$. У зв'язку з тим що струм статора I_1 має реактивну (індуктивну) складову, необхідну для створення магнітного нуля в статорі, коефіцієнт потужності асинхронних двигунів менше одиниці. Найбільше значення коефіцієнта потужності відповідає режиму х.х. Пояснюється це тим, що струм х.х. I_0 при будь-якому навантаженні залишається практично незмінним. Тому при малих навантаженнях двигуна струм статора невеликий і в значній частині є реактивним ($I_1 \approx I_0$). У результаті зсув по фазі струму статора I_1 відносно напруги U_1 виходить значним ($\varphi_1 \approx \varphi_0$), лише деяким менше 90° (рис. 3.4). Коефіцієнт по-

тужності асинхронних двигунів у режимі х.х. звичайно не перевищує 0,2 (рис.3.3, 3.4).

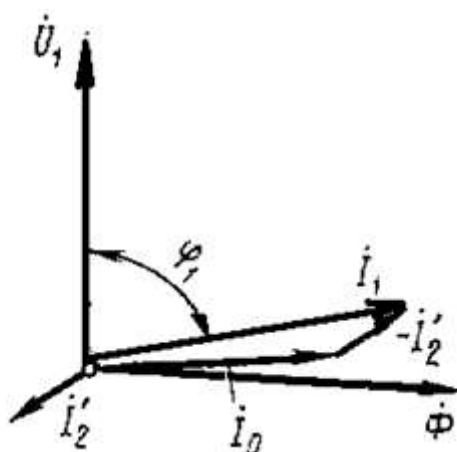


Рисунок 3.3– Векторна діаграма асинхронного двигуна при невеликому навантаженні.

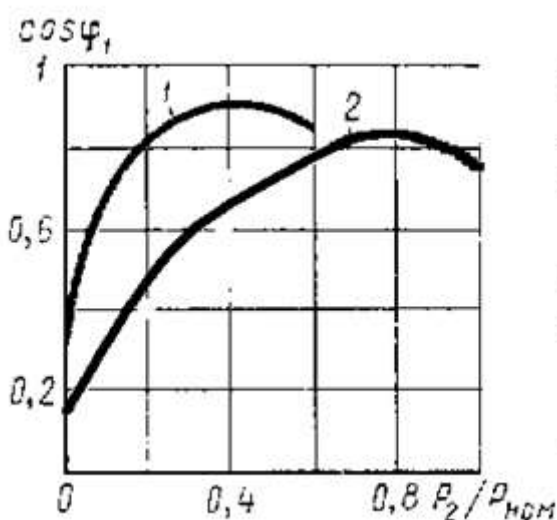


Рисунок 3.4 – Залежність $\cos\varphi_1$ від навантаження при з'єднанні обмотки статора “зіркою” (1) і “трикутником” (2)

При збільшенні навантаження на валу двигуна росте активна складова струму I_1 і коефіцієнт потужності зростає, досягаючи найбільшого значення (0,80 – 0,90) при навантаженні, близької до номінального. Подальше збільшення навантаження супроводжується зменшенням $\cos\varphi_1$, що пояснюється зростанням

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

МРМА23.00.00.000.ПЗ

Арк.
48

двигуна. Цей метод полягає у виконанні двох експериментів: досліду холостого ходу і досліду короткого замикання.

Досліди х.х. і к. з. асинхронних двигунів в основному аналогічні таким же дослідам трансформаторів. Але вони мають і деякі особливості, обумовлені головним чином наявністю у двигуна обертової частини – ротора. Крім того, при переході з режиму х.х. у режим к. з. параметри обмоток двигуна (активні й індуктивні опори) не залишаються незмінними, що пояснюється зубцюватою поверхнею статора і ротора. Усе це створює деякі утруднення в проведенні Дослідів і в наступній обробці їхніх результатів.

3.2 Опис стенда для дослідження характеристик та параметрів асинхронних конденсаторних двигунів

Для дослідження асинхронного конденсаторного двигуна у всіх трьох режимах використовують трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором загальнопромислового призначення потужністю не більше 600 Вт. Це доцільно по-перше, тому що на практиці зазвичай виникає потреба застосування трифазного двигуна о однофазному чи конденсаторному режимах такої самої потужності, по-друге при невеликій потужності двигуна ємність робочого конденсатора невелика і зазвичай складає 5-20 мкФ (залежно від потужності двигуна і напруги живлення) і, нарешті, по-третє, при такій потужності двигуна схема з'єднань не ускладнюється вимірювальними трансформаторами струму.

Якщо в трифазному режимі роботи обмотки статора двигуна повинні з'єднуватися в «трикутник», то необхідно скоритися схемою наведеною на рисунку 3.1. Тут для вимірювання активної потужності P_1 споживаної двигуном, слугують два ватметри $PW1$ та $PW2$. У трифазному режимі потужність P_1 дорівнює сумі показників ватметрів ($P_1 = P'_1 + P''_1$). В однофазному та конденсаторному режимах ватметр $PW2$ виявляється вимкненим і потужність P_1 визначається показом ватметра $PW1$, тобто $P_1 = P'_1$. У розглянутій схемі застосовані два ам-

перметри: PA_1 для вимірювання лінійного струму I_1 та PA_2 для вимірювання струму у фазній обмотці двигуна $I_{\phi 1}$.

При дослідженні АКД по схемі з'єднання «зіркою», застосовується схема що наведена на рисунку 3.2, в якій використовують такий самий комплект вимірювання приладів, як і в схемі показані на рисунку 3.1, але з одним амперметром.

Розроблений стенд (показаний на рисунку 3.4) забезпечує дослідження робочих та механічних характеристик та основних параметрів асинхронних конденсаторних двигунів. До складу стенда входять такі скланові: двигун керування, електромагнітне гальмо, електронний тахометр, батарея конденсаторів, амперметр, вольтметр та ватметр. Усі прилади, на даному пристрої є широко доступними і не дорогавартіними.

Даний стенд призначений для проведення дослідження асинхронних двигунів різної потужності.

Він дозволяє проводити:

- вимірювання: (струм, рівномірність споживання струму по фазах, вимірювання напруги живлення на обмотках, опір ізоляції обмоток, активний опір обмоток, споживану потужність, температуру обмоток);
- визначення: (стану підшипників електродвигуна, короткозамкнутих витків, коефіцієнта трансформації, випробовування на електричну міцність);
- дослідження: (холостого ходу, роботи з навантаженням та короткого замикання.)

При роботі трифазного двигуна в однофазному режимі (при відключенні однієї із фаз) його робочі характеристики значно погіршуються. Крім того при включенні цього двигуна в однофазну мережу виникає пульсуючий магнітний потік, що забезпечує його запуск (тобто сумований пусковий моменти дорівнює нулю).

Для вирішення цієї задачі розроблено спеціальні схеми (аркуш [МРМА 23.00.00.000С4]) розроблено спеціальні схеми, які дозволяють створити додатко-

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк. 51
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

вий магнітний потік, який є зміщений у часі і просторі відносно основного пульсуючого магнітного потоку.

Даний двигун містить на статорі дві обмотки (обидві є робочими) і до однієї із цих обмоток подається ємність C_p значення якої розраховується таким чином, щоб при номінальному навантаженні існувало обертове поле прямої послідовності (аркуш [МРМА 23.00.00.000ДІ]. Якщо обертове магнітне поле однофазного конденсаторного двигуна близьке до кругового, то його робочі характеристики наближаються до трифазного двигуна.



Рисунок 3.5 – Стенд для дослідження асинхронного конденсаторного двигуна з трифазною обмоткою

За рахунок наявності конденсаторів коефіцієнт потужності даного двигуна вищий ніж у трифазного двигуна однакової потужності. Саме тому такий тип двигуна можна використовувати при підвищених вимогах до пускового моменту.

3.3 Висновки до третього розділу

1. Розроблений стенд забезпечує дослідження робочих та механічних характеристик та нових параметрів АКД.
2. Застосовані в стенді прилади та пристрої є доступними а також не дорогартісними.
3. Стенд забезпечує наглядність досліджень.

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГУНА З ТРИФАЗНОЮ ОБМОТКОЮ

4.1 Загальні відомості про порядок дослідження АКД

Складають схему з'єднань за рисунком 4.1. Після перевірки ставлять перемикач S в положення 1, при якому двигун стає трифазним, і замикають рубильник, який вмикає двигун до мережі (аркуш [МРМА 23.00.00.000С4]).

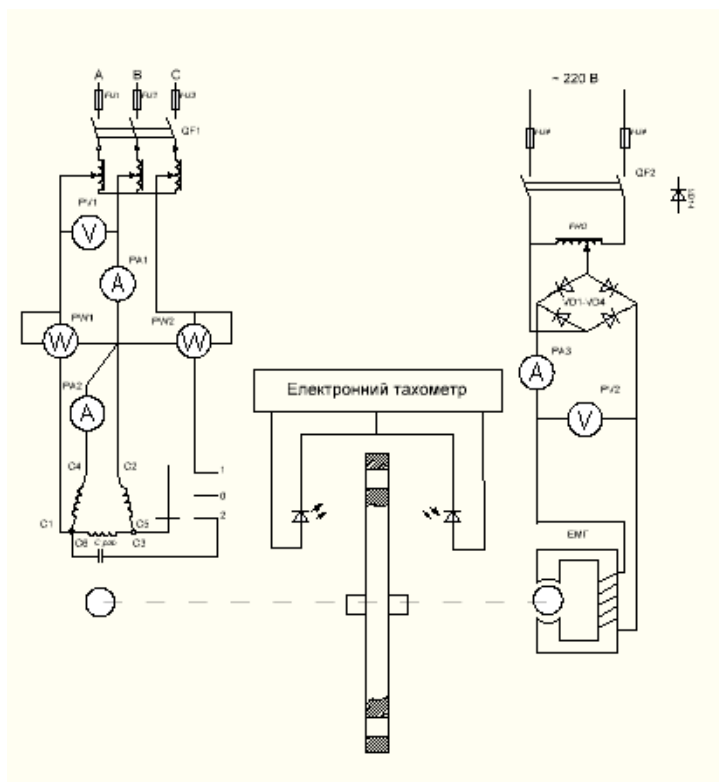


Рисунок 4.1 – Схема дослідження АКД в однофазному режимі при з'єднанні обмоток “трикутником”

Після цього поступово, навантажуючи двигун електромагнітним гальмом ЕМГ, доводять навантажувальний момент до значення, при якому струм у фазній обмотці двигуна досягає значення $I_{\phi 1} = 1,2I_{ном}$, де $I_{ном}$ – номінальне значення фазного струму двигуна. При цьому через приблизно однакові інтервали струму

навантаження $I_{\phi l}$, наприклад $I_{\phi l}=I_{\phi l0}$; $I_{\phi l}=0,5I_{I_{ном}}$; $I_{\phi l}=0,75I_{I_{ном}}$; $I_{\phi l}=1,2I_{I_{ном}}$, знімають показники приладів і заносять їх у таблицю.

Потім виконують розрахунки.

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi_1 = S_1 / (3U_1 \cdot I_{\phi 1}); \quad (4.1)$$

Корисна потужність двигуна, Вт:

$$P_2 = 0,105M_2 \cdot n_2, \quad (4.2)$$

де M_2 – навантажувальний момент, Н·м.

ККД двигуна у відсотках,

$$\eta = (P_2/S_1) \cdot 100\% \quad (4.3)$$

Однофазний і конденсаторний режими двигуна. Для дослідження двигуна в однофазному режимі необхідно поставити перемикач s в положення 2, увімкнути двигун у мережу і після закінчення процесу пуспу перевести перемикач s в нейтральне положення. При цьому двигун буде працювати як однофазний.

Для одержання даних, необхідних для побудови робочих характеристик, двигун навантажують за допомогою ЕМГ до струму навантаження у фазній обмотці $I_{\phi l}=1,2I_{I_{ном}}$. При цьому через визначені інтервали струму $I_{\phi l}$ змінюють показники приладів, роблять необхідні розрахунки та отримані значення величин заносять у таблицю відповідно до дослідження. При цьому коефіцієнт потужності двигуна:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}, \quad (4.4)$$

де P_1 – потужність, що споживана двигуном в однофазному режимі, Вт, визначається з показників ватметра PW_1 , тобто $P_1 P'_1$; I_1 – струм у лінійному проводі, А.

Корисну потужність двигуна визначають за формулою (4.2), а ККД – за (4.3)

Для дослідження двигуна в конденсаторному режимі необхідно перемикач s поставити в положення 2 і після пуску двигуна залишити його в тому самому положенні. Порядок проведення досліду такий самий, що й в однофазному режимі.

Побудова робочих характеристик. Робочі характеристики двигуна для всіх режимів роботи будують за даними таблиці 4.1. При цьому графіки, призначені для порівняння між собою величин P_2 , $\cos\phi_1$, M_2 , η будують у функції фазного струму $I_{\phi 1}$. Для зручності графіки однойменних (порівняльних) величин усіх трьох режимів роботи асинхронного двигуна будують в осях координат. На кожному з графіків проводять ординату при $I_{\phi 1} = I_{ном}$. і відзначають на характеристиках номінальні значення величин.

Аналіз результатів роботи. Аналізуючи результати експериментальних досліджень, у першу чергу порівнюють номінальні значення корисної потужності, коефіцієнта потужності та ККД двигуна в трифазному режимі з його паспортними даними і роблять висновок про відповідність результатів дослідження паспортним даним двигуна.

Потім порівнюють однойменні робочі характеристики двигуна у всіх трьох режимах і дають пояснення причинам, що викликали розбіжність цих характеристик; визначають відносну величину того чи іншого параметра в однофазному і конденсаторному режимах порівняно з відповідним параметром у трифазному режимі роботи двигуна. Наприклад, визначають у відсотках величини активної потужності в однофазному і конденсаторному режимах двигуна порівняно з номінальною потужністю двигуна $P_{ном}$ у номінальному режимі.

Дослід холостого ходу. Живлення асинхронного двигуна при досліді холостого ходу (х.х.) здійснюється через індукційний регулятор напруги ІР чи регу-

лювальний автотрансформатор, що дозволяє змінювати напругу в широких межах. При цьому вал двигуна повинний бути вільним від механічного навантаження.

Дослід починають з підвищеної напруги Живлення $U_1=1,15U_{ном}$, потім поступово знижують напругу до $0,4U_1$, так, щоб зняти показання приладів у 5–7 точках. При цьому один з вимірів повинний відповідати номінальній напрузі $U_{Iном}$. Вимірюють лінійні значення напруг і струмів і обчислюють їхні середні значення:

$$U_{cp} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{AC})/3 \quad (4.5)$$

$$I_{0cp} = (I_{0A} + I_{0B} + I_{0C})/3 \quad (4.6)$$

а потім у залежності від схеми з'єднання обмотки статора визначають фазні значення напруги і струму х.х.:

при з'єднанні в “зірку”

$$U_1 = U_{cp}/\sqrt{3}; I_0 = I_{0cp}, \quad (4.7)$$

при з'єднанні в “трикутник”

$$U_1 = U_{cp}; I_0 = I_{0cp}/\sqrt{3} \quad (4.8)$$

Ватметр W вимірює активну потужність P_0 , споживану двигуном у режимі х.х., що містить у собі електричні втрати в обмотці статора $m_1 I_0^2 r_1$, магнітні втрати в осерді статора P_m і механічні втрати $P_{мех}$ (Вт):

$$P_0 = m_1 I_0^2 r_1 + P_m + P_{мех}, \quad (4.9)$$

де r_1 – активний опір фази обмотки статора (Ом), виміряний безпосередньо після вимкнення двигуна від мережі, щоб обмотка не встигла охолонути.

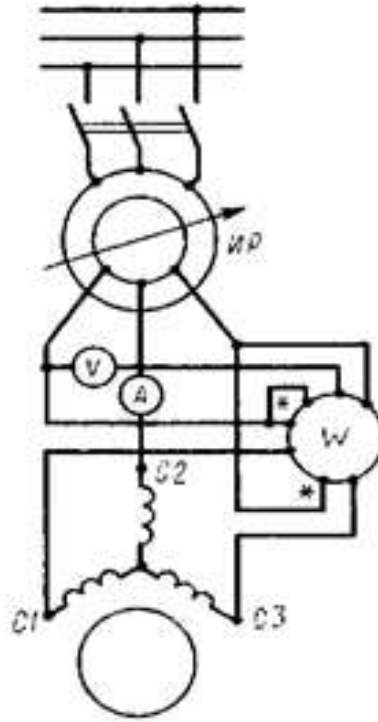


Рисунок 4.2 – Схема увімкнення трифазного асинхронного двигуна при дослідях х.х. і к.з.

Сума магнітних і механічних втрат двигуна (Вт)

$$P'_0 = P_m + P_{\text{мех}} = P_0 - m_1 I_0 r_1 \quad (4.10)$$

Коефіцієнт потужності для режиму х.х.

$$\cos \varphi_0 = P_0 / (m_1 U_1 I_0) \quad (4.11)$$

За результатами вимірів і обчислень будують характеристики х.х. I_0 , P_0 , P'_0 і $\cos \varphi_0 = f(U_1)$, на яких відзначають значення величин $I_{0\text{ном}}$, $P_{0\text{ном}}$, $P'_{0\text{ном}}$, $\cos \varphi_{0\text{ном}}$, що відповідають номінальній напрузі $U_{1\text{ном}}$ (рис. 4.2).

Поділ магнітних і механічних втрат засновано на тім, що при незмінній частоті мережі f_1 частота обертання двигуна в режимі х.х. n_0 , а отже, і механічні втрати $P_{\text{мех}}$ незмінні. У той же час магнітний потік Φ прямо пропорційний ЕРС статора

E_1 . Для режиму х.х. $U_1 \approx E_1$, а тому при $U_1=0$ і магнітний потік $\Phi=0$, а отже, і магнітні втрати $P_m=0$.

Визначивши величину механічних трат $P_{мех}$, можна обчислити магнітні втрати (Вт):

$$P_m = P_0 - P_{мех} \quad (4.12)$$

Для асинхронних двигунів з фазним ротором у досліді холостого ходу визначають коефіцієнт трансформації напруг між обмотками статора і ротора. Цей коефіцієнт із достатньою точністю може бути визначений по відношенню середніх арифметичних лінійних (міжфазових) напруг статора до аналогічних напруг ротора.

Дослід короткого замикання. Схема з'єднань асинхронного двигуна при досліді короткого замикання к.з. залишається, як і в досліді х.х.. Але при цьому вимірювальні прилади повинні бути обрані відповідно до межі виміру струму, напруги і потужності. Ротор двигуна варто жорстко закріпити, попередньо установивши його в положення, що відповідає середньому струму к.з. З цією метою до двигуна підводять не велику напругу ($U_k=0,1U_{1 ном}$) і, повільно повертаючи ротор, стежать за показанням амперметра, стрілка якого буде коливатися в залежності від положення ротора двигуна. Пояснюється це взаємним зсувом зубцевих зон ротора і статора, що викликає коливання індуктивних опорів обмоток двигуна.

Граничне значення струму статора при досліді к.з. встановлюють виходячи з припустимого струмового навантаження мережі живлення і можливості провести дослід у мінімальний термін, щоб не викликати небезпечного перегріву двигуна. Для двигунів потужністю до 1 кВт можливо проведення досліді починаючи з номінальної напруги $U_k=U_{1 ном}$. У цьому випадку граничний струм $I_k=(5 \div 7) \times I_{ном}$. Для двигунів більшої потужності сила граничного струму $I_k=(2,5 \div 5) \times I_{ном}$. При виконанні досліді к.з. у навчальних цілях можна обмежити-

ся граничною силою $I_k=(2,5\div 5)\times I_{ном}$. При виконанні досліду к.з. бажане з'єднання обмотки статора зіркою.

Визначивши діапазон зміни струму статора при досліді к.з., дослід починають із граничного значення цього струму, установивши на індукційному регуляторі відповідну напругу к.з. U_k . Потім поступово знижують цю напругу до значення, при якому струм I_k досягне нижньої межі встановленого діапазону його значень. При цьому знімають показання приладів для точок 5–7, одна з яких повинна відповідати номінальному струму статора ($I_k=I_{ном}$). Тривалість досліду повинна бути мінімальною. З цією метою вимірюють лише одну лінійну напругу (наприклад, $U_{кАВ}$), тому що деяка несиметрія лінійних напруг при досліді К.З. не має значення. Лінійні струми вимірюють хоча б у двох лінійних провідниках (наприклад, $I_{кА}$ і $I_{кВ}$). За розрахункове значення струму к.з. приймають середнє арифметичне цих двох значень. Після зняття останніх показань приладів двигун варто вимкнути і відразу ж зробити вимір активного опору фази обмотки статора r'_1 , щоб визначити температуру обмотки. Лінійні напруги і струми перераховують на фазні U_k та I_k по формулах, аналогічним (4.3) і (4.4).

Ватметр W вимірює активну потужність к.з. P_k . За отриманим значенням напруг U_k , струмів I_k і потужностей P_k обчислюють наступні параметри:

– коефіцієнт потужності при к.з.

$$\cos \varphi_k = P_k / (m_1 U_k I_k); \quad (4.13)$$

– повний опір к.з. (Ом)

$$z_k = U_k / I_k; \quad (4.14)$$

– активні і індуктивні складові цього опору (Ом)

$$r_k = z_k \cos \varphi_k; \quad (4.15)$$

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \quad (4.16)$$

Виміряні й обчислені величини заносять у таблицю, а потім будують характеристики к.з.: I_δ ; P_k та $\cos\varphi_k=f(U_k)$

При досліді к.з. обмотки двигуна швидко нагріваються до робочої температури, тому що при нерухомому роторі двигун не вентилюється. Температуру ($^{\circ}\text{C}$) обмотки θ_1 звичайно визначають по опорі фази r'_1 виміряному безпосередньо після проведення досліді, по формулі:

$$\theta_1 = [(r'_1 - r_{1.20})(255/r_{1.20})] + 20, \quad (4.17)$$

де $r_{1.20}$ – опір фази обмотки статора в холодному стані (звичайно при температурі 20°C), Ом.

Якщо ж температура обмотки виявилася менше розрахункової робочої температури θ_2 для відповідного класу нагрівостійкості ізоляції двигуна, то активний опір к.з. r_k (Ом) перераховують на робочу температуру:

$$r_k = r'_k [1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)], \quad (4.18)$$

де r'_k – активний опір к.з. при температурі θ_1 , що відрізняється від розрахункової робочої; $\alpha=0,004$.

Потім перераховують на робочу температуру повний опір к.з. $z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2}$, напругу к.з. $U_k = I_k z_k$ і потужність к.з. $P_k = m_1 I_k^2 r_k$.

На характеристиках к.з. (рисунок 4.3) відзначають значення величин $P_{\text{кном}}$, $U_{\text{кном}}$, що відповідають струму к.з. $I_k = I_{\text{ном}}$.

Струм і потужність к.з. перераховують на номінальну напругу $U_{\text{ном}}$:

$$I'_k = I_n \approx I_{\text{ном}} (U_{\text{ном}} / U_{\text{к.ном}}); \quad (4.19)$$

$$P'_k = P_{\text{к.ном}} (U_{\text{ном}} / U_{\text{к.ном}})^2; \quad (4.20)$$

Варто мати на увазі, що таке перерахування є наближеним, тому що при $U_k = U_{I_{ном}}$ настає магнітне насичення осердь (особливо зубцевих шарів) статора і ротора; це приводить до зменшення індуктивного опору x_k , що не враховується формулами (4.15) і (4.16). Кратність пускового струму дорівнює $I_n/I_{ном}$.

Електромагнітна потужність у режимі к.з., передана на ротор двигуна, дорівнює електричним втратам в обмотці ротора $P_{e2к}$, тому електромагнітний момент при досліді к.з. (Н·м)

$$M_k \approx M_n = P_{e2к} / \omega_1 = (P_{к.ном} - P_{elк} - P_{м.к}) / \omega_1$$

де $P_{elк} = m_1 I_{к.ном}^2 r_1$ – електричні втрати в обмотці статора при досліді к.з.

Магнітні втрати при досліді к.з. $P_{м.к}$ приблизно визначають по характеристиках Х.Х. при напрузі $U_1 = U_k$. У режимі х.х. магнітний потік Φ більше, ніж у режимі К.З., але якщо в режимі Х.Х. магнітні втрати відбуваються тільки в осерді статора, то в режимі к.з. ($s=1$) магнітні втрати відбуваються ще й у осерді ротора, тому що $f_2 = f_1$.

Початковий пусковий момент одержують перерахуванням моменту M_k на початковий пусковий струм:

$$M_n \approx M_k (I_n / I_k)^2$$

Потім визначають кратність пускового моменту $M_n/M_{ном}$.

4.2 Дослідження АКД в трифазному режимі при з'єднанні обмоток “трикутником”

Подібна схема асинхронного двигуна має на увазі, що обмотки з'єднуються послідовно: кінець однієї приєднується до кінця наступної. В цьому

$$M_2 = 9.81 \cdot m \cdot l \cdot \sin l \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $m=0,60$ кг – маса важілля;

$l=0,212$ м – довжина важілля,

$$M_{2.1} = 9.81 \cdot 0.6 \cdot 0.212 \cdot 0.242 = 0.3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2.2} = 9.81 \cdot 0.6 \cdot 0.212 \cdot 0.208 = 0.26 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2.3} = 9.81 \cdot 0.6 \cdot 0.212 \cdot 0.174 = 0.22 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2.4} = 9.81 \cdot 0.6 \cdot 0.212 \cdot 0.139 = 0.17 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2.5} = 9.81 \cdot 0.6 \cdot 0.212 \cdot 0.105 = 0.13 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2.6} = 9.81 \cdot 0.6 \cdot 0.212 \cdot 0.069 = 0.09 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2.7} = 9.81 \cdot 0.6 \cdot 0.212 \cdot 0.035 = 0.04 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2.8} = 9.81 \cdot 0.6 \cdot 0.212 \cdot 0 = 0 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Активну потужність розраховуємо за формулою:

$$P_1 = P_1' + P_1'' \text{ (Вт)}$$

де P_1' і P_1'' - відповідно покази першого та другого ватметра Вт:

$$P_{1.1} = 122 + 14 = 136 \text{ Вт};$$

$$P_{1.2} = 108 + 4 = 112 \text{ Вт};$$

$$P_{1.3} = 104 + 3 = 107 \text{ Вт};$$

$$P_{1.4} = 98 + 8 = 106 \text{ Вт};$$

$$P_{1.5} = 90 + 16 = 106 \text{ Вт};$$

$$P_{1.6} = 82 + 24 = 106 \text{ Вт};$$

$$P_{1.7} = 96 + 36 = 126 \text{ Вт};$$

$$P_{1.8} = 72 + 36 = 110 \text{ Вт};$$

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

Корисна потужність двигуна розраховуємо за формулою:

$$P_2 = 0.105 \cdot M_2 \cdot n_2 \text{ Вт},$$

де M_2 – навантажувальний момент Н·м;

n_2 – частота обертання на валу двигуна (об/хв.),

$$P_{2.1} = 0.105 \cdot 0.3 \cdot 2838 = 89.40 \text{ Вт};$$

$$P_{2.2} = 0.105 \cdot 0.26 \cdot 2874 = 78.46 \text{ Вт};$$

$$P_{2.3} = 0.105 \cdot 0.22 \cdot 2891 = 66.78 \text{ Вт};$$

$$P_{2.4} = 0.105 \cdot 0.17 \cdot 2908 = 51.90 \text{ Вт};$$

$$P_{2.5} = 0.105 \cdot 0.13 \cdot 2935 = 40,06 \text{ Вт};$$

$$P_{2.6} = 0.105 \cdot 0.09 \cdot 2959 = 27,96 \text{ Вт};$$

$$P_{2.7} = 0.105 \cdot 0.04 \cdot 2978 = 12,50 \text{ Вт};$$

$$P_{2.8} = 0.105 \cdot 0 \cdot 2994 = 0 \text{ Вт};$$

Коефіцієнт потужності розраховуємо за формулою:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot u_1 \cdot I_1};$$

де P_1 - активна потужність (Вт), u_1 - напруга джерела живлення (В);

$u_1 = 232$ (В) – для всіх режимів; I_1 – струм в магнітному проводі (А) – визначається амперметром A_1 ,

$$\cos \varphi_{1.1} = \frac{136}{\sqrt{3} \cdot 232 \cdot 0.58} = 0.58;$$

$$\cos \varphi_{1.2} = \frac{112}{\sqrt{3} \cdot 232 \cdot 0.55} = 0.51;$$

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк. 65
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\cos \varphi_{1.3} = \frac{107}{\sqrt{3} \cdot 232 \cdot 0.54} = 0.49;$$

$$\cos \varphi_{1.4} = \frac{106}{\sqrt{3} \cdot 232 \cdot 0.53} = 0.49;$$

$$\cos \varphi_{1.5} = \frac{106}{\sqrt{3} \cdot 232 \cdot 0.51} = 0.51;$$

$$\cos \varphi_{1.6} = \frac{106}{\sqrt{3} \cdot 232 \cdot 0.495} = 0.53;$$

$$\cos \varphi_{1.7} = \frac{126}{\sqrt{3} \cdot 232 \cdot 0.49} = 0.64;$$

$$\cos \varphi_{1.8} = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 232 \cdot 0.49} = 0.55;$$

Коефіцієнт корисної дії двигуна розраховуємо за формулою:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%, (\%),$$

де P_2 – корисна потужність двигуна (Вт); P_1 – активна потужність (Вт),

$$\eta_1 = \frac{89.40}{136} \cdot 100\% = 66 \%;$$

$$\eta_2 = \frac{78.46}{112} \cdot 100\% = 70 \%;$$

$$\eta_3 = \frac{66,78}{107} \cdot 100\% = 62 \%;$$

Побудова робочих характеристик.

Робочі характеристики при дослідженні АКД в трифазному режимі приведені на рис.4.3.

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

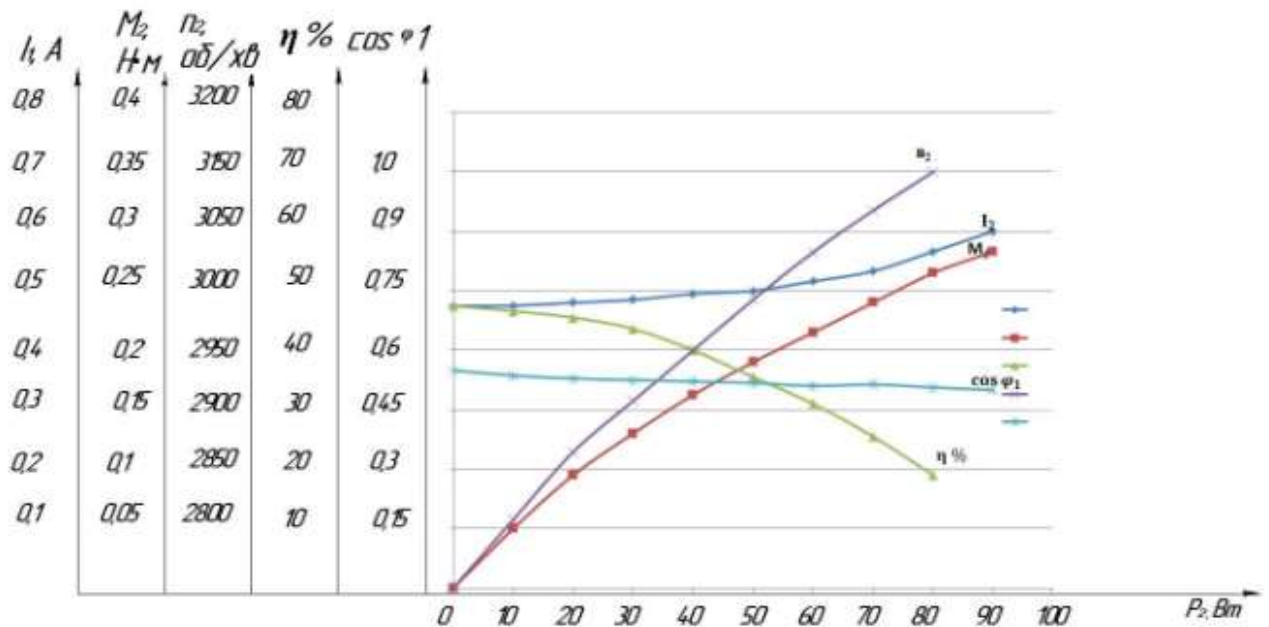


Рисунок 4.3 – Робочі характеристики при дослідженні АКД в трифазному режимі

4.3 Дослідження АКД в однофазному режимі при з'єднанні обмоток “трикутником” з конденсатором ємністю $C=5\text{мкФ}$

Як правило дана схема підключення зазвичай наводиться на корпусі приладу. Найчастіше на внутрішній стороні кожуха, що приховує колодку, або де-небудь неподалік на шильдику. Керуючись схемою, можна зрозуміти, як підключити електродвигун з 6 проводами (по парі на кожну обмотку). Коли трифазна мережа (її часто називають 380В), то обмотки з'єднуються зіркою. При цьому утворюється одна загальна для всіх котушок точка, куди стикується нейтраль (умовний схемний електричний нуль). На інші кінці подається по фазі. Виходить як раз три за кількістю обмоток.

Як поводитися з трикутником для підключення трифазного двигуна на 220В, має бути вже зрозуміло. На аркуші [МРМА.23.00.00.000 РР] наведені:

- схема електричного з'єднання обмоток;
- робочий конденсатор для створення правильного розподілу фаз;

Відповідно:

$$M_{2.1} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot 0,242 = 0,3 \text{ Нм}$$

$$M_{2.2} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot 0,208 = 0,26 \text{ Нм}$$

$$M_{2.3} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot 0,22 = 0,22 \text{ Нм}$$

$$M_{2.4} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot 0,139 = 0,17 \text{ Нм}$$

$$M_{2.5} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot 0,105 = 0,13 \text{ Нм}$$

$$M_{2.6} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot 0,069 = 0,09 \text{ Нм}$$

$$M_{2.7} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot 0,035 = 0,04 \text{ Нм}$$

$$M_{2.8} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot 0 = 0 \text{ Нм}$$

Активну потужність розраховуємо за формулою:

$$P_1 = P'_1 \text{ (Вт)},$$

де P'_1 – покази ватметра (W_l),

$$P_{1.1} = 164 \text{ Вт};$$

$$P_{1.2} = 142 \text{ Вт};$$

$$P_{1.3} = 122 \text{ Вт};$$

$$P_{1.4} = 102 \text{ Вт};$$

$$P_{1.5} = 86 \text{ Вт};$$

$$P_{1.6} = 74 \text{ Вт};$$

$$P_{1.7} = 54 \text{ Вт};$$

$$P_{1.8} = 48 \text{ Вт}.$$

Корисну потужність двигуна розраховуємо за формулою:

$$P_2 = 0.105 \cdot M_2 \cdot n_2 \text{ (Вт)},$$

де M_2 – навантажувальний момент (Нм);

n_2 – оберти на валу двигуна (об/хв.),

$$P_{2.1} = 0.105 \cdot 0,5 \cdot 2686 = 84,6 \text{ Вт};$$

$$P_{2.2} = 0.105 \cdot 0,26 \cdot 2748 = 75 \text{ Вт};$$

$$P_{2.3} = 0.105 \cdot 0,22 \cdot 2794 = 58,7 \text{ Вт};$$

$$P_{2.4} = 0.105 \cdot 0,17 \cdot 2853 = 50,9 \text{ Вт};$$

$$P_{2.5} = 0.105 \cdot 0,13 \cdot 2890 = 39,5 \text{ Вт};$$

$$P_{2.6} = 0.105 \cdot 0,04 \cdot 2961 = 12,4 \text{ Вт};$$

$$P_{2.8} = 0.105 \cdot 0 \cdot 2976 = 0 \text{ Вт}.$$

Коефіцієнт потужності розраховується за формулою:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{(U_1 \cdot I_1)}$$

де P_1 – активна потужність (Вт);

U_1 – напруга джерела живлення (В); $U_1=230$ (В);

I_1 – струм в лінійному проводі (А) – визначається амперметром A_1 ,

$$\cos\varphi_{1.1} = \frac{164}{(232 \cdot 0,95)} = 0,74;$$

$$\cos\varphi_{1.2} = \frac{142}{(232 \cdot 0,87)} = 0,7;$$

$$\cos\varphi_{1.3} = \frac{122}{(232 \cdot 0,81)} = 0,65;$$

$$\cos\varphi_{1.4} = \frac{102}{(232 \cdot 0,75)} = 0,58;$$

$$\cos\varphi_{1.5} = \frac{86}{(232 \cdot 0,72)} = 0,51;$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA23.00.00.000.ПЗ

Арк.

70

$$\cos\varphi_{1.6} = \frac{74}{(232 \cdot 0,71)} = 0,46;$$

$$\cos\varphi_{1.7} = \frac{54}{(232 \cdot 0,69)} = 0,34;$$

$$\cos\varphi_{1.8} = \frac{48}{(232 \cdot 0,68)} = 0,3.$$

Коефіцієнт корисної дії двигуна розраховуємо за формулою;

$$\eta = \left(\frac{P_2}{P_1}\right) \cdot 100\%,$$

де P_2 – корисна потужність двигуна (Вт);

P_1 – активна потужність (Вт),

$$\eta_1 = \left(\frac{84,6}{164}\right) \cdot 100\% = 52\%;$$

$$\eta_2 = \left(\frac{75}{142}\right) \cdot 100\% = 52\%;$$

$$\eta_3 = \left(\frac{58,7}{122}\right) \cdot 100\% = 48\%;$$

$$\eta_4 = \left(\frac{50,9}{102}\right) \cdot 100\% = 49\%;$$

$$\eta_5 = \left(\frac{39,5}{86}\right) \cdot 100\% = 46\%;$$

$$\eta_6 = \left(\frac{27,6}{74}\right) \cdot 100\% = 37\%;$$

$$\eta_7 = \left(\frac{12,4}{54}\right) \cdot 100\% = 23\%;$$

$$\eta_8 = \left(\frac{0}{48}\right) \cdot 100\% = 0\%;$$

$I_{\phi 1}$ – фазний струм (А) – визначається амперметром А) (аркуш [МРМА 23.00.00.000РР]).

					<i>МРМА 23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		71

Побудова робочих характеристик при дослідженні АКД в конденсаторно-мному режимі наведена на рисунку 4.4

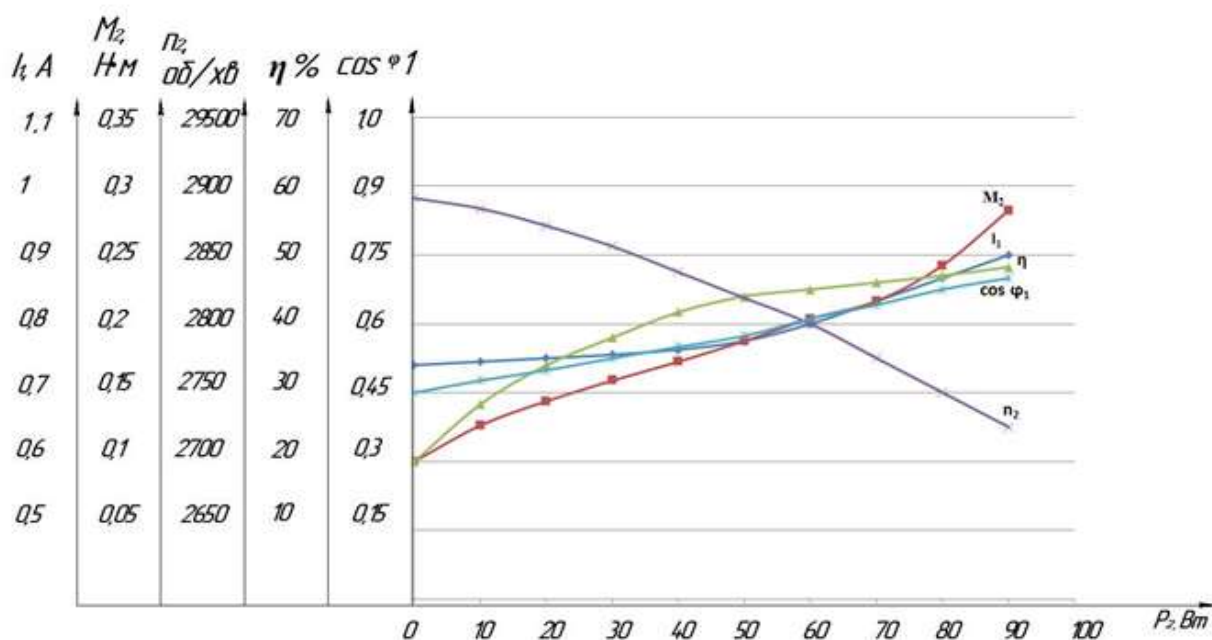


Рисунок 4.4 – Робочі характеристики при дослідженні АКД в конденсаторно-мному режимі ($C=3$ мкФ)

4.4 Дослідження АКД в однофазному режимі при з'єднанні обмоток “трикутником” з конденсатором ємністю $C=12$ мкФ

Трифазні електродвигуни необхідно підключати до вітчизняної мережі 380В тільки за схемою трикутник. Якщо підключити даний двигун зіркою, то під навантаженням він відразу ж згорить. Вітчизняні ж трифазні електродвигуни до трифазної мережі підключаються за схемою зірка. Іноді підключення виробляють трикутником, це робиться для того, щоб вичавити з двигуна максимальну потужність, необхідну для деяких видів технологічного обладнання (табл.4.4).

Результати вимірювань та розрахунків при дослідженні АКД в однофазному режимі роботи (запуск при $C=14$ мкФ) представлені в табл.4.4.

$$P_{1.3} = 128 \text{ Вт};$$

$$P_{1.4} = 144 \text{ Вт};$$

$$P_{1.5} = 104 \text{ Вт};$$

$$P_{1.6} = 92 \text{ Вт};$$

$$P_{1.7} = 82 \text{ Вт};$$

$$P_{1.8} = 76 \text{ Вт};$$

Корисна потужність двигуна:

$$P_{2.1} = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2 = 0,105 \cdot 0,3 \cdot 2867 = 90,1 \text{ Вт};$$

$$P_{2.2} = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2 = 0,105 \cdot 0,26 \cdot 2865 = 78,2 \text{ Вт};$$

$$P_{2.3} = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2 = 0,105 \cdot 0,22 \cdot 2901 = 67 \text{ Вт};$$

$$P_{2.4} = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2 = 0,105 \cdot 0,17 \cdot 2922 = 52,2 \text{ Вт};$$

$$P_{2.5} = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2 = 0,105 \cdot 0,13 \cdot 2942 = 40,2 \text{ Вт};$$

$$P_{2.6} = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2 = 0,105 \cdot 0,9 \cdot 2960 = 28 \text{ Вт};$$

$$P_{2.7} = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2 = 0,105 \cdot 0,4 \cdot 2975 = 12,5 \text{ Вт};$$

$$P_{2.8} = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2 = 0,105 \cdot 0 \cdot 2988 = 0 \text{ Вт};$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi_{1.1} = \frac{P_1}{U_1 I_1} = \frac{130}{232 \cdot 0,65} = 0,86;$$

$$\cos\varphi_{1.2} = \frac{P_1}{U_1 I_1} = \frac{138}{232 \cdot 0,6} = 0,99;$$

$$\cos\varphi_{1.3} = \frac{P_1}{U_1 I_1} = \frac{128}{232 \cdot 0,56} = 0,98;$$

$$\cos\varphi_{1.4} = \frac{P_1}{U_1 I_1} = \frac{114}{232 \cdot 0,51} = 0,96;$$

$$\cos\varphi_{1.5} = \frac{P_1}{U_1 I_1} = \frac{104}{232 \cdot 0,46} = 0,97;$$

$$\cos\varphi_{1.6} = \frac{P_1}{U_1 I_1} = \frac{92}{232 \cdot 0,41} = 0,96;$$

$$\cos\varphi_{1.7} = \frac{P_1}{U_1 I_1} = \frac{82}{232 \cdot 0,37} = 0,95;$$

$$\cos\varphi_{1.8} = \frac{P_1}{U_1 I_1} = \frac{76}{232 \cdot 0,35} = 0,93;$$

Коефіцієнт корисної дії двигуна:

$$\eta_1 = \frac{90,1}{130} \cdot 100\% = 69\%$$

$$\eta_2 = \frac{78,2}{138} \cdot 100\% = 57\%$$

$$\eta_3 = \frac{67}{128} \cdot 100\% = 52\%$$

$$\eta_4 = \frac{52,2}{114} \cdot 100\% = 46\%$$

$$\eta_5 = \frac{42,2}{1041} \cdot 100\% = 39\%$$

$$\eta_6 = \frac{28}{92} \cdot 100\% = 30\%$$

$$\eta_7 = \frac{12,5}{82} \cdot 100\% = 15\%$$

$$\eta_8 = \frac{0}{72} \cdot 100\% = 0\%$$

$I_{\phi 1}$ – фазний струм (А) визначається амперметром А₂.

Побудова робочих характеристик.

Отримані робочі характеристики при дослідженні АКД в конденсаторному режимі (C=12 мкФ) приведені на рис.4.5.

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк. 75
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

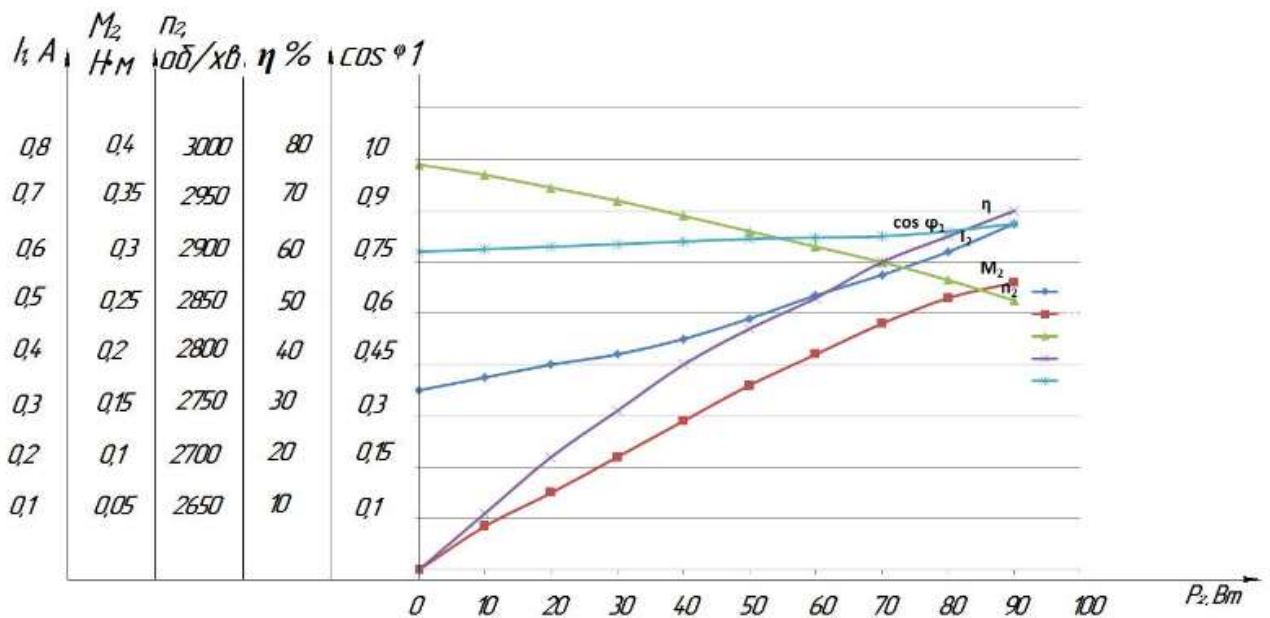


Рисунок 4.5 – Робочі характеристики при дослідженні АКД в конденсаторному режимі ($C=12$ мкФ)

4.5 Дослідження АКД в однофазному режимі при з'єднанні обмоток “трикутником” з конденсатором ємністю $C=14$ мкФ

Розрахунки навантажувальний момент на валу двигуна, активної потужності споживання, корисної потужності на валу двигуна, коефіцієнта потужності та коефіцієнта корисної дії розраховуємо аналогічно пункту 4.4:

$$M_2 = 9,87 \cdot m \cdot l \cdot \sin \alpha \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$P_1 = P_1' \text{ Вт};$$

$$P_2 = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2 \text{ Вт};$$

$$\cos \varphi_1 = P_1 (U_1 \cdot I_1);$$

$$\eta = \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \cdot 100\% \text{ (\%)}.$$

Результати вимірювань та розрахунків при дослідженні АКД в однофазному режимі роботи (Запуск при $C=14$ мкФ) приведені в табл.4.5.

Таблиця 4.5 – Результати вимірювань та розрахунків при дослідженні АКД в однофазному режимі роботи (запуск при $C=14$ мкФ)

Результати вимірювання	Номер дослідження							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$U_1, В$	232	232	232	232	232	232	232	232
$I_1, А$	0,75	0,7	0,65	0,59	0,56	0,51	0,46	0,44
$I_{\phi 1}, А$	0,17	0,15	0,14	0,14	0,14	0,16	0,19	0,2
$P_1', Вт$	172	160	150	136	128	116	102	100
$P_1'', Вт$	-	-	-	-	-	-	-	-
$n_2, об/хв$	2864	2887	2904	2927	2939	2958	2973	2983
$\alpha, ^\circ$	14	12	10	8	6	4	2	0
Результати розрахунку	1	2	3	4	5	6	7	8
$M_2, Н\cdot м$	0,3	0,26	0,22	0,17	0,13	0,09	0,04	0
$P_1, Вт$	172	160	150	136	128	116	102	100
$P_2, Вт$	90,2	78,82	67,1	52,2	40,11	27,95	12,5	0
$\cos \phi_1$	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,96	0,97
$\eta, \%$	52,4	49,2	44,7	38,4	31,3	24,2	12,3	0

Навантажувальний момент на валу двигуна:

$$M_{21} = 9,87 \cdot 0,6 \cdot 212 \cdot 0,242 = 0,3 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{22} = 9,87 \cdot 0,6 \cdot 212 \cdot 0,208 = 0,26 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{23} = 9,87 \cdot 0,6 \cdot 212 \cdot 0,174 = 0,22 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{24} = 9,87 \cdot 0,6 \cdot 212 \cdot 0,139 = 0,17 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{25} = 9,87 \cdot 0,6 \cdot 212 \cdot 0,105 = 0,13 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{26} = 9,87 \cdot 0,6 \cdot 212 \cdot 0,069 = 0,09 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{27} = 9,87 \cdot 0,6 \cdot 212 \cdot 0,035 = 0,04 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{28} = 9,87 \cdot 0,6 \cdot 212 \cdot 0 = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Активна потужність:

$$P_{11} = 172 \text{ Вт};$$

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		77

$$P_{12} = 160 \text{ Вт};$$

$$P_{13} = 150 \text{ Вт};$$

$$P_{14} = 136 \text{ Вт};$$

$$P_{15} = 128 \text{ Вт};$$

$$P_{16} = 116 \text{ Вт};$$

$$P_{17} = 102 \text{ Вт};$$

$$P_{17} = 100 \text{ Вт}.$$

Корисна потужність двигуна:

$$P_{21} = 0,105 \cdot 0,3 \cdot 2864 = 90,2 \text{ Вт};$$

$$P_{22} = 0,105 \cdot 0,26 \cdot 2887 = 78,82 \text{ Вт};$$

$$P_{23} = 0,105 \cdot 0,22 \cdot 2904 = 67,1 \text{ Вт};$$

$$P_{24} = 0,105 \cdot 0,17 \cdot 2917 = 52,2 \text{ Вт};$$

$$P_{25} = 0,105 \cdot 0,13 \cdot 2939 = 40,11 \text{ Вт};$$

$$P_{26} = 0,105 \cdot 0,09 \cdot 2958 = 29,95 \text{ Вт};$$

$$P_{27} = 0,105 \cdot 0,04 \cdot 2973 = 12,5 \text{ Вт};$$

$$P_{28} = 0,105 \cdot 0 \cdot 2985 = 0 \text{ Вт}.$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi_{11} = \frac{172}{232 \cdot 0,75} = 0,99;$$

$$\cos \varphi_{12} = \frac{160}{232 \cdot 0,7} = 0,99;$$

$$\cos \varphi_{13} = \frac{150}{232 \cdot 0,65} = 0,99;$$

$$\cos \varphi_{14} = \frac{136}{232 \cdot 0,59} = 0,99;$$

$$\cos \varphi_{15} = \frac{128}{232 \cdot 0,56} = 0,98;$$

$$\cos \varphi_{16} = \frac{116}{232 \cdot 0,51} = 0,98;$$

$$\cos \varphi_{17} = \frac{102}{232 \cdot 0,46} = 0,96;$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA23.00.00.000.ПЗ

Арк.

78

$$\cos \varphi_{18} = \frac{100}{232 \cdot 0,44} = 0,97 ;$$

Коефіцієнт корисної дії двигуна:

$$\eta_1 = \left(\frac{90,2}{172} \right) \cdot 100\% = 52,4 \ %;$$

$$\eta_2 = \left(\frac{78,82}{160} \right) \cdot 100\% = 49,2 \ %;$$

$$\eta_3 = \left(\frac{67,1}{150} \right) \cdot 100\% = 44,7 \ %;$$

$$\eta_4 = \left(\frac{52,2}{136} \right) \cdot 100\% = 38,4 \ %;$$

$$\eta_5 = \left(\frac{40,11}{128} \right) \cdot 100\% = 31,3 \ %;$$

$$\eta_6 = \left(\frac{27,95}{116} \right) \cdot 100\% = 24,1 \ %;$$

$$\eta_7 = \left(\frac{12,5}{102} \right) \cdot 100\% = 12,3 \ %;$$

$$\eta_8 = \left(\frac{0}{100} \right) \cdot 100\% = 0 \ %;$$

Побудова робочих характеристик.

Отримані робочі характеристики при дослідженні АКД в конденсаторному режимі (C=14 мкФ) приведені на рис.4.5.

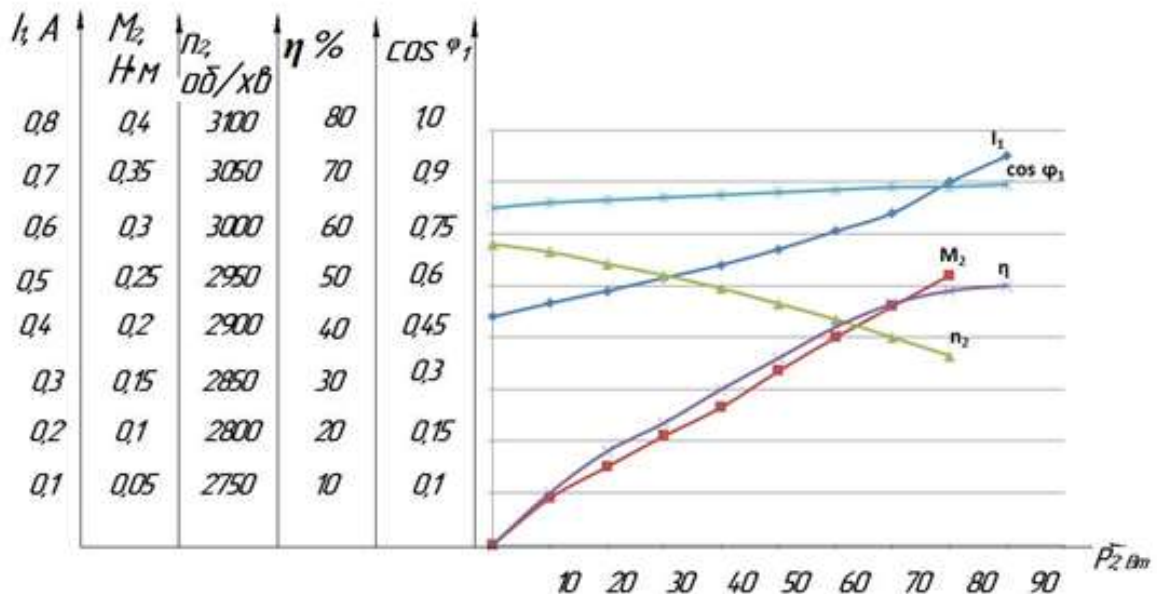


Рисунок 4.5 – Робочі характеристики при дослідженні АКД в конденсаторному режимі (C=14 мкФ)

4.6 Дослідження АКД в трифазному режимі при з'єднанні обмоток “зіркою”

Отримані результати вимірювань та розрахунків при дослідженні АКД в трифазному режимі роботи представлені на рис.4.6.

Таблиця 4.6 – Результати вимірювань та розрахунків при дослідженні АКД в трифазному режимі роботи

Результати вимірювання	Номер дослідження					
	1	2	3	4	5	6
U_1 , В	232	232	232	232	232	232
I_1 , А	0,34	0,27	0,23	0,2	0,16	0,14
$I_{\phi 1}$, А	-	-	-	-	-	-
P_1' , Вт	76	62	52	40	32	22
P_1'' , Вт	32	22	18	10	9	8
n_2 , об/хв	2419	2578	2682	2790	2881	2889
α , °	11	9	7	5	3	0
Результати розрахунку	1	2	3	4	5	6
M_2 , Н·м	0,24	0,19	0,15	0,1	0,06	0
P_1 , Вт	108	84	70	50	41	30
P_2 , Вт	60,96	51,43	42,24	29,29	18,15	0
$\cos \varphi_1$	0,79	0,77	0,76	0,62	0,64	0,53
η , %	56,44	61,23	60,34	58,58	44,27	0

Розрахунки проводимо аналогічно попереднім пунктам.

Навантажувальний момент складає:

$$M_{2,1} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot \sin 11^\circ = 0,24 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2,2} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot \sin 9^\circ = 0,19 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2,3} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot \sin 7^\circ = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2,4} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot \sin 5^\circ = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{2,5} = 9,81 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot \sin 3^\circ = 0,06 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Корисна потужність двигуна:

$$P_2 = 0,115 \cdot M_2 \cdot n_2, (\text{Вт}),$$

$$P_{2.1} = 0,115 \cdot M_{2.1} \cdot n_2 = 0,115 \cdot 0,24 \cdot 2419 = 60,96 \text{ Вт};$$

$$P_{2.2} = 0,115 \cdot M_{2.2} \cdot n_2 = 0,115 \cdot 0,19 \cdot 2578 = 51,43 \text{ Вт};$$

$$P_{2.3} = 0,115 \cdot M_{2.3} \cdot n_2 = 0,115 \cdot 0,15 \cdot 2682 = 42,24 \text{ Вт};$$

$$P_{2.4} = 0,115 \cdot M_{2.4} \cdot n_2 = 0,115 \cdot 0,1 \cdot 2790 = 29,29 \text{ Вт};$$

$$P_{2.5} = 0,115 \cdot M_{2.5} \cdot n_2 = 0,115 \cdot 0,06 \cdot 2881 = 18,15 \text{ Вт};$$

$$P_{2.6} = 0,115 \cdot M_{2.2} \cdot n_2 = 0,115 \cdot 0 \cdot 2989 = 0 \text{ Вт};$$

Коефіцієнт потужності визначається за формулою:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1},$$

де P_1 – потужність яка використовується двигуном.

Потужність розраховується за формулою:

$$P_1 = P_1' + P_1''$$

$$P_{1.1} = P_1' + P_1'' = 76 + 32 = 108 \text{ Вт};$$

$$P_{1.2} = P_1' + P_1'' = 62 + 22 = 84 \text{ Вт};$$

$$P_{1.3} = P_1' + P_1'' = 52 + 18 = 70 \text{ Вт};$$

$$P_{1.4} = P_1' + P_1'' = 40 + 10 = 50 \text{ Вт};$$

$$P_{1.5} = P_1' + P_1'' = 32 + 9 = 41 \text{ Вт};$$

$$P_{1.6} = P_1' + P_1'' = 62 + 22 = 84 \text{ Вт};$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi_{1.1} = \frac{108}{\sqrt{3} \cdot 232 \cdot 0,34} = \frac{108}{1,73 \cdot 232 \cdot 0,34} = \frac{108}{136,62} = 0,79;$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA23.00.00.000.ПЗ

Арк.

81

$$\cos\varphi_{1.2} = \frac{84}{401,83 \cdot 0,27} = \frac{84}{108,49} = 0,77;$$

$$\cos\varphi_{1.3} = \frac{70}{401,83 \cdot 0,22} = \frac{70}{92,42} = 0,76;$$

$$\cos\varphi_{1.4} = \frac{50}{401,83 \cdot 0,2} = \frac{50}{80,36} = 0,62;$$

$$\cos\varphi_{1.5} = \frac{41}{401,83 \cdot 0,16} = \frac{41}{64,29} = 0,64;$$

$$\cos\varphi_{1.6} = \frac{30}{401,83 \cdot 0,14} = \frac{30}{56,25} = 0,53;$$

Коефіцієнт корисної дії двигуна:

$$\eta = \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \cdot 100\%,$$

$$\eta_1 = \frac{60,96}{108} \cdot 100\% = 56,44\%$$

$$\eta_2 = \frac{51,43}{84} \cdot 100\% = 61,23\%$$

$$\eta_3 = \frac{42,24}{70} \cdot 100\% = 60,34\%$$

$$\eta_4 = \frac{29,29}{50} \cdot 100\% = 58,58\%$$

$$\eta_5 = \frac{18,15}{10841} \cdot 100\% = 44,27\%$$

$$\eta_6 = \frac{0}{30} \cdot 100\% = 0\%$$

Побудова робочих характеристик.

Отримані робочі характеристики при дослідженні АКД в трифазному режимі представлені на рис.4.5.

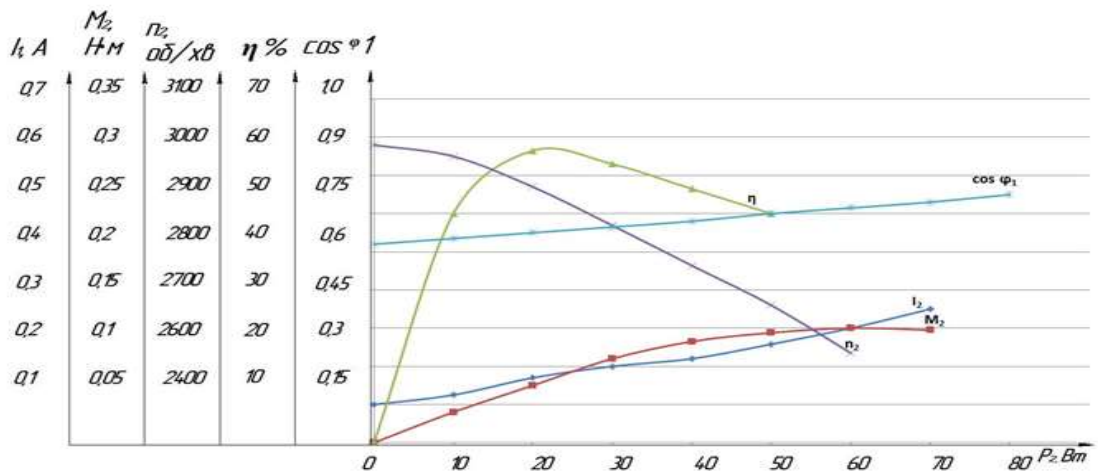


Рисунок 4.5 – Робочі характеристики при дослідженні АКД в трифазному режимі

4.7 Дослідження АКД в однофазному режимі при з'єднанні обмоток “зіркою”

Результати вимірювань та розрахунків при дослідженні АКД в однофазному режимі роботи приведено в табл.4.7.

Таблиця 4.7 – Результати вимірювань та розрахунків при дослідженні АКД в однофазному режимі роботи

Результати вимірювання	Номер дослідження		
	1	2	3
U_1, B	232	232	232
I_1, A	0,35	0,26	0,23
$I_{\phi 1}, A$	-	-	-
$P_1', Bт$	60	32	18
$P_1'', Bт$	-	-	-
$n_2, об/хв$	2600	2854	2967
$\alpha, ^\circ$	5	3	0
Результати розрахунку	1	2	3
$M_2, H \cdot m$	0,1	0,06	0
$P_1, Bт$	60	32	18

$P_2, \text{Вт}$	27,3	17,99	0
$\cos \varphi_1$	0,74	0,53	0,34
$\eta, \%$	45,5	56,22	0

Навантажувальний момент на валу:

$$M_2 = 9,81 \cdot m \cdot l \cdot \sin \alpha ,$$

де $m = 0,6$ кг. – маса важеля,

l - довжина важеля, $l = 0,212$,

$\alpha = 5^\circ, 3^\circ, 0^\circ$ – кут відхилення електро- магнітного гальма,

$$M_{2.1} = 9,8 \cdot 0,6 \cdot 0,212 \cdot \sin 5^\circ = 1,248 \cdot 0,087 = 0,1 \text{ Н}\cdot\text{м} ;$$

$$M_{2.2} = 1,248 \cdot 0,05 = 0,06 \text{ Н}\cdot\text{м} ;$$

$$M_{2.3} = 1,248 \cdot 0 = 0 \text{ Н}\cdot\text{м} .$$

Потужність, яка використовується двигуном:

$$P_1 = P'_1 (\text{Вт}),$$

де P'_1 – потужність, яка визначається за показом ватметра W_1 ,

$$P_{1.1} = P'_1 = 60 \text{ Вт};$$

$$P_{1.2} = P'_1 = 32 \text{ Вт};$$

$$P_{1.3} = P'_1 = 18 \text{ Вт}.$$

Корисна потужність двигуна:

$$P_2 = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2, \text{Вт}$$

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		84

де n_2 – оберти на валу (об/хв.);

M_2 – навантажувальний момент (Н·м),

$$P_{2.1} = 0,105 \cdot 0,1 \cdot 2600 = 27,3 \text{ Вт};$$

$$P_{2.2} = 0,105 \cdot 0,06 \cdot 2854 = 17,99 \text{ Вт};$$

$$P_{2.3} = 0,105 \cdot 0 \cdot 2967 = 0 \text{ Вт};$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi_1 = P_1 / (U_1 \cdot I_1),$$

де P_1 – потужність, яка використовується двигуном,

U_1 – напруга джерела живлення дорівнює $U_1 = 232 \text{ В}$,

I_1 – струм в лінійному проводі, А і визначається за показами амперметра А1,

$$\cos \varphi_{1.1} = \frac{60}{232 \cdot 0,35} = 0,74;$$

$$\cos \varphi_{1.2} = \frac{32}{232 \cdot 0,26} = 0,53;$$

$$\cos \varphi_{1.3} = \frac{18}{232 \cdot 0,23} = 0,34.$$

Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100\%,$$

де P_1 – потужність, яка використовується двигуном,

P_2 – корисна потужність двигуна,

$$\eta_{1.1} = 27,3 / 60 \cdot 100 = 45,5 \%;$$

$$\eta_{1.2} = 17,99 / 32 \cdot 100 = 56,22 \%;$$

$$\eta_{1.3} = 0 / 18 \cdot 100 = 0 \%;$$

Побудова робочих характеристик.

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		85

Робочі характеристики при дослідженні АКД в трифазному режимі представлені на рис.4.6.

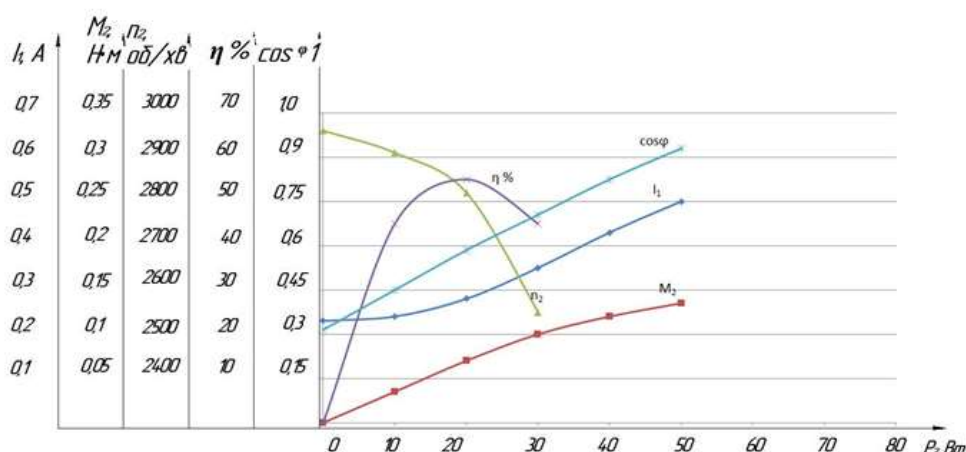


Рисунок 4.6 – Робочі характеристики при дослідженні АКД в трифазному режимі

4.8 Дослідження АКД в конденсаторному режимі при з'єднанні обмоток “зіркою” $C = 2,5 \text{ мкФ}$; $C = 3 \text{ мкФ}$

Результати вимірювань та розрахунків при дослідженні АКД в конденсаторному режимі роботи ($C = 2,5 \text{ мкФ}$) представлено в табл.4.8, 4.9.

Таблиця 4.8 – Результати вимірювань та розрахунків при дослідженні АКД в конденсаторному режимі роботи ($C = 2,5 \text{ мкФ}$)

Результати	Номер дослідження			
	1	2	3	4
Результати вимірювання				
$U_1, В$	232	232	232	232
$I_1, А$	0,27	0,2	0,13	0,1
$I_{\phi 1}, А$	-	-	-	-
$P_1', Вт$	58	40	24	18
$P_1'', Вт$	-	-	-	-
$n_2, об/хв$	2727	2850	2940	2987
$\alpha, ^\circ$	7	5	3	0
Результати розрахунку				
$M_2, Н \cdot м$	0,15	0,1	0,06	0

$C = 3 \text{ мкФ}$

$$M_{2.1} = 1,248 \cdot 0,156 = 0,19 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{2.2} = 1,248 \cdot 0,122 = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{2.3} = 1,248 \cdot 0,087 = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{2.4} = 1,248 \cdot 0,05 = 0,06 \text{ Н} \cdot \text{м} ;$$

$$M_{2.5} = 1,248 \cdot 0 = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність, яка використовується двигуном:

$$P_1 = P'_1 (\text{Вт}),$$

де P'_1 – потужність, яка визначається за показом ватметра $W1$ $C = 2,5 \text{ мкФ}$,

$$P_{1.1} = P'_{1.1} = 58 \text{ Вт};$$

$$P_{1.2} = P'_{1.2} = 40 \text{ Вт};$$

$$P_{1.3} = P'_{1.3} = 24 \text{ Вт};$$

$$P_{1.4} = P'_{1.4} = 18 \text{ Вт}.$$

$C = 3 \text{ мкФ}$

$$P_{1.1} = P'_{1.1} = 82 \text{ Вт};$$

$$P_{1.2} = P'_{1.2} = 60 \text{ Вт};$$

$$P_{1.3} = P'_{1.3} = 44 \text{ Вт};$$

$$P_{1.4} = P'_{1.4} = 30 \text{ Вт};$$

$$P_{1.5} = P'_{1.5} = 20 \text{ Вт}.$$

Корисна потужність двигуна:

$$P_2 = 0,105 \cdot M_2 \cdot n_2, \text{Вт}$$

де n_2 – оберти на валу (об/хв.);

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

M_2 – навантажувальний момент (Н·м) $C = 2,5$ мкФ,

$$P_{2.1} = 0,105 \cdot 0,15 \cdot 2730 = 42,99 \text{ Вт};$$

$$P_{2.2} = 0,105 \cdot 0,1 \cdot 2860 = 30,03 \text{ Вт};$$

$$P_{2.3} = 0,105 \cdot 0,06 \cdot 2950 = 18,58 \text{ Вт};$$

$$P_{2.4} = 0,105 \cdot 0 \cdot 2988 = 0 \text{ Вт}.$$

$C = 3$ мкФ

$$P_{2.1} = 0,105 \cdot 0,19 \cdot 2959 = 59,03 \text{ Вт};$$

$$P_{2.2} = 0,105 \cdot 0,15 \cdot 2736 = 43,09 \text{ Вт};$$

$$P_{2.3} = 0,105 \cdot 0,1 \cdot 2843 = 29,85 \text{ Вт};$$

$$P_{2.4} = 0,105 \cdot 0,06 \cdot 2931 = 18,46 \text{ Вт};$$

$$P_{2.5} = 0,105 \cdot 0 \cdot 2987 = 0 \text{ Вт}.$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos \varphi_1 = P_1 / (U_1 \cdot I_1),$$

де P_1 – потужність, яка використовується двигуном,

U_1 – напруга джерела живлення,

I_1 – струм в лінійному проводі, А і визначається за показами амперметра

А1 $C = 2,5$ мкФ,

$$\cos \varphi_{1.1} = \frac{58}{232 \cdot 0,27} = 0,92;$$

$$\cos \varphi_{1.2} = \frac{40}{232 \cdot 0,2} = 0,86;$$

$$\cos \varphi_{1.3} = \frac{24}{232 \cdot 0,13} = 0,79;$$

$$\cos \varphi_{1.4} = \frac{18}{232 \cdot 0,1} = 0,77 .$$

$C = 3$ мкФ

$$\cos \varphi_{1.1} = \frac{82}{232 \cdot 0,39} = 0,9;$$

$$\cos \varphi_{1.2} = \frac{60}{232 \cdot 0,27} = 0,96;$$

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\cos \varphi_{1.3} = \frac{44}{232 \cdot 0,21} = 0,9;$$

$$\cos \varphi_{1.4} = \frac{30}{232 \cdot 0,14} = 0,92;$$

$$\cos \varphi_{1.5} = \frac{20}{232 \cdot 0,11} = 0,86.$$

Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = (P_2/P_1) \cdot 100\%,$$

де P_1 – потужність, яка використовується двигуном,

P_2 – корисна потужність двигуна. $C = 2,5$ мкФ,

$$\eta_{1.1} = 42,99/58 \cdot 100 = 74,12 \% ;$$

$$\eta_{1.2} = 30,03/40 \cdot 100 = 75,08 \% ;$$

$$\eta_{1.3} = 18,58/24 \cdot 100 = 77,42 \% ;$$

$$\eta_{1.4} = 0/18 \cdot 100 = 0 \% ;$$

$C = 3$ мкФ

$$\eta_{1.1} = 59,03/82 \cdot 100 = 71,99 \% ;$$

$$\eta_{1.2} = 43,09/60 \cdot 100 = 71,82 \% ;$$

$$\eta_{1.3} = 29,85/44 \cdot 100 = 65,57 \% ;$$

$$\eta_{1.4} = 18,46/30 \cdot 100 = 61,53 \% ;$$

$$\eta_{1.5} = 0/20 \cdot 100 = 0 \% .$$

Побудова робочих характеристик.

Отримані робочі характеристики при дослідженні АКД в конденсаторному режимі ($C = 3$ мкФ) представлені на рис.4.7,

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

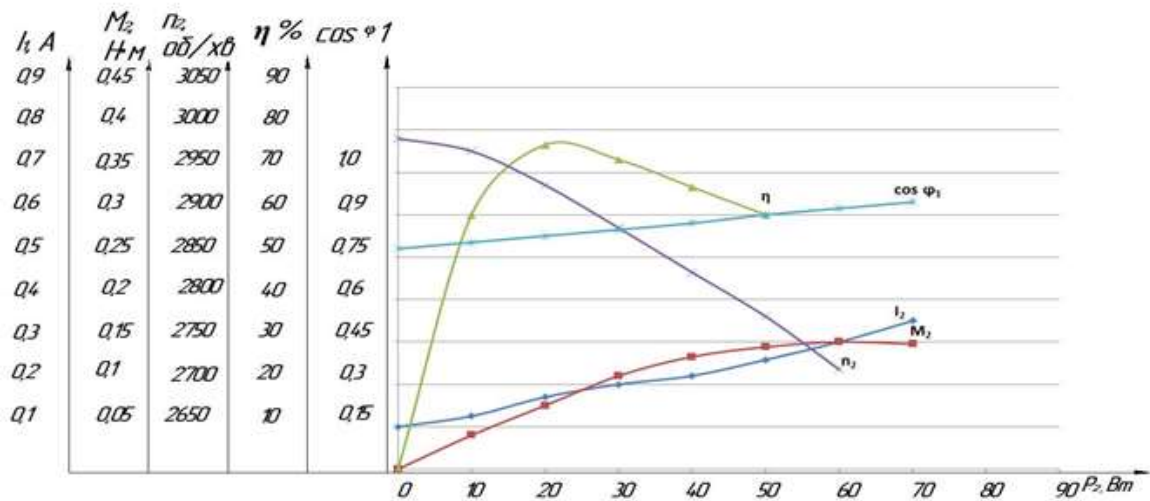


Рисунок 4.7 – Робочі характеристики при дослідженні АКД в конденсаторному режимі ($C = 3$ мкФ)

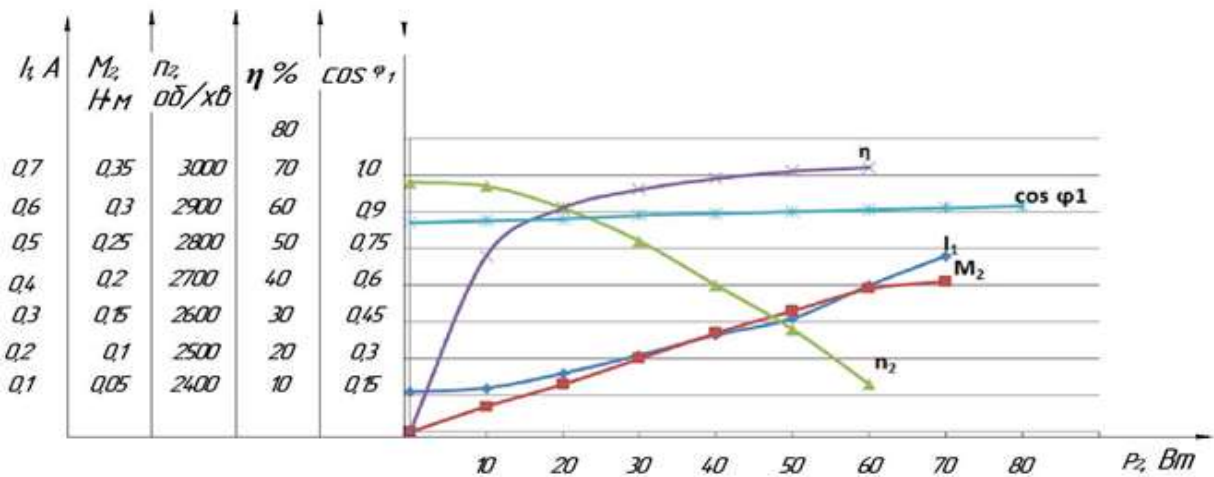


Рисунок 4.8 – Робочі характеристики при дослідженні АКД в конденсаторному режимі ($C = 3$ мкФ)

4.9 Висновки до розділу 4

1. Встановлено, що швидкісна характеристика АКД представляє собою криву, слабо нахилену до осі абсцис тобто має жорсткий характер.
2. Графік залежності крутного моменту на валу від корисної потужності представляє собою пряму лінію. Але із збільшенням навантаження частота

обертання зменшується і корисний момент на валу дещо збільшується, а це призводить до того, що крива має криволінійний характер.

3. З'ясовано що коефіцієнт потужності з ростом навантаження збільшується досяганням значення 0,8... 0,9 при номінальному навантаженні.

4. З'ясовано що для підвищення коефіцієнта потужності важливо щоб АКД працював в режимі близькому до номінального.

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Асинхронні двигуни отримали широке застосування в сучасних електричних установах і являються найбільш розповсюдженим видом безколекторних електричних машин змінного струму. Область їх застосування дуже широка – від привода пристроїв автоматики до електропобутових приладів. На особливу увагу заслуговують однофазні асинхронні конденсаторні двигуни з трифазною обмоткою.

За результатами розробки стенду та проведених експериментальних досліджень:

- з'ясовано, що в основний принцип дії асинхронних двигунів є утворення статором обертового магнітного поля;
- встановлено, що найважливішою умовою створення обертового магнітного поля статора є правильний вибір номіналу конденсаторів.
- встановлено, що робота двигуна при ковзанні менше є критичною, а являється найбільш економічною;
- розроблений стенд забезпечує дослідження робочих та механічних характеристик та нових параметрів АКД;
- стенд забезпечує наглядність досліджень.
- встановлено, що швидкісна характеристика АКД представляє собою криву, слабо нахилену до осі абсцис тобто має жорсткий характер;
- графік залежності крутного моменту на валу від корисної потужності представляє собою пряму лінію, але із збільшенням навантаження частота обертання зменшується і корисний момент на валу дещо збільшується, а це призводить до того, що крива має криволінійний характер;
- з'ясовано що коефіцієнт потужності з ростом навантаження збільшується досягаючи значення 0,8... 0,9 при номінальному навантаженні;
- з'ясовано що для підвищення коефіцієнта потужності важливо щоб АКД працював в режимі близькому до номінального.

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						93
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

11. Грудська В.П., Чибеліс В.І. Електротехнічні пристрої систем автоматичного управління технологічними процесами /КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 107 с.
12. Куценко Ю.М., Яковлєвтаін В.Ф. Електричні машини і апарати: навчальний посібник. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.
13. Костинюк Л.Д., Мороз В.І., Паранчук Я.С.. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / - Львів: Видавництво Національного Університету «Львівська політехніка», 2004.- 404 с.
14. Павленко Т.П., Мілих В.І. , Шайда В.П., Дослідження електричних машин і апаратів: Лабораторний практикум з курсу «Електричні машини і апарати» для студентів електротехнічних спеціальностей /,. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013.
15. Мілих В.І. Літерні позначення величин та параметрів електричних машин. Методичні вказівки до використання в навчальному процесі кафедри «Електричні машини».– Х.: НТУ «ХПІ», 2007.– 31 с.
16. Наний В.В., Шайда В.П., Юхимчук В.Д., Єгоров Б.О.. Дослідження електричних мікромашин: Лабораторний практикум /– Х.: НТУ «ХПІ», 2008. – 84 с.
14. Видмиш А. А., Ярошенк Л. В. о. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
17. Чорний, О. П. Особливості дослідження моделей систем електроприводу/ О. П. Чорний, В. К.Титюк // Електромеханіка і енергозберігаючі системи. – 2013. – Вип. 3. – С. 33-48.
18. Ковальова, Ю. В. Реактивний струм асинхронного електроприводу з тиристорним регулятором напруги [Текст] / Ю. В. Ковальова // Електротехніка і Електромеханіка. - 2014. - №6. - С. 43-47.
19. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Х.: «Точка», 2012. – 340 с.

					<i>МРМА23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк. 95
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					<i>MPMA23.00.00.000.ПЗ</i>	Арк.
						97
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		