

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів побутових приладів

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

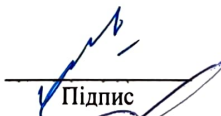
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

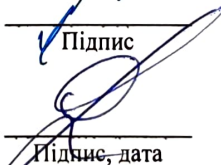
Шифр МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТмз-22-1


Підпис

Я.М. Мицак
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

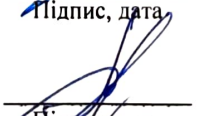
проф. Г.М. Драпак
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С.І. Пундик
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

проф. О.С. Поліщук
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

24 12 2022 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерної механіки

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

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

_____.2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Мицак Ярослав Михайлович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів побутових приладів

керівник роботи Драпак Георгій Мефодійович, к.т.н., професор

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

Затверджено наказом ректора університету від 16.08 2023 р. № 30

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики стенду

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики магістерської роботи. 2 Розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів. 3 Розрахунок асинхронного двигуна. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Пристрої для дослідження електричних двигунів (ДО, А1). 2. Стенд для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів (Д1, А1). 3. Стенд для дослідження асинхронного двигуна (Е1, А1). 4. Стенд для дослідження асинхронного двигуна (Е3, А1). 5. Блок гальванічної розв'язки (Е2, А1). 6-7. Асинхронний двигун (В3, А1). 8. Робочі характеристики асинхронного двигуна (РР, А1).

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 технічної літератури	до 30.10.23р.	
2 Розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів	до 10.11.23р.	
3 Розрахунок асинхронного двигуна	до 20.11.23р.	
4 Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.23р.	

Студент




 Підпис

Я. М. Мицак

Ініціали, прізвище

Керівник роботи



 Підпис

Г.М. Драпак

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

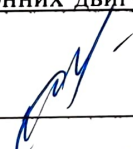
1. Прізвище, ім'я та по батькові Мицак Ярослав Михайлович

2. Тема магістерської роботи Розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів побутових приладів

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Шур Світлана Іванівна
д-р технічних наук КТДБ КСР

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 70

5. Одним з найпоширеніших, надійним і дешевим перетворювачем електричної енергії в механічну залишається асинхронний двигун. Існує ряд пристроїв для дослідження електричних двигунів, та всеодно є ще багато невирішених питань в цій галузі. Це призводить до порушення безперервності технологічних процесів з подальшим браком продукції, витратами на відновлення і ремонт електродвигунів, а також на відновлення нормальних технологічних процесів виробництва. Тому розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів побутових приладів є актуальною. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики магістерської роботи, а саме огляд характеристик асинхронних електричних двигунів та методів їх вимірювання, а також стенди для їх дослідження. В другому здійснюється розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів. В третьому розділі проведено розрахунок асинхронного двигуна.

Підпис студента 

"23" "12" 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол N 2 від "27" "12" 2023 р.

Оцінка проекту ЕК добре 4,5 / 5
Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

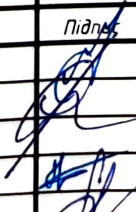
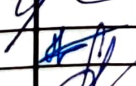
"27" "12" 2023 р.

ЗМІСТ

стор.

Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики магістерської роботи.....	8
1.1 Характеристики асинхронних електричних двигунів.....	8
1.2 Методи вимірювання характеристик асинхронних двигунів.....	20
1.3 Стенди для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів.....	28
Висновки до першого розділу	33
2 Розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів.....	34
2.1 Розробка структурної схеми стенду.....	34
2.2 Розробка електричної схема блоку керування та розрахунок його основних елементів	36
2.3 Розробка блоку гальванічної розв'язки	38
2.4 Загальний вигляд розробленого стенду.....	44
Висновки до другого розділу.....	47
3 Розрахунок асинхронного двигуна	48
3.1 Вибір основних розмірів	48
3.2 Розрахунок зубцевої зони та обмотки статора	50
3.3 Вибір повітряного зазору	57
3.4 Розрахунок ротора	58
3.5 Розрахунок магнітопроводу.....	61
Висновки до третього розділу	65

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
		Мицак Я. М.			Розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів побутових приладів	Літ.	Арк.	Аркушів
		Драпак Г. М.						4
		Пундик С. І.			ХНУ зр. ЕТМ-21-1			
		Полищук О. С.						

Висновки 66
Перелік джерел посилань 67
Додатки

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Асинхронний двигун - один з найпопулярніших, надійних і недорогих перетворювачів, що перетворюють електричну енергію в механічну. Його розвиток протягом більше століття гарантується розробкою сучасних електроізоляційних і електроізоляційних матеріалів, розробкою нових конструкцій, інженерно-технічних рішень. Таким чином, поряд з багатьма іншими способами економії енергії за допомогою електроприводу, одним з найбільш ефективних є розробка асинхронних двигунів.1

Асинхронні двигуни в даний час є найбільш поширеними електромеханічними. Вони споживають близько 40% електроенергії, виробленої у світі. Асинхронні двигуни дуже популярні завдяки простоті конструкції, низькій вартості і високій експлуатаційній надійності. Крім жовтневих достоїнств, асинхронний двигун має і ряд недоліків-в процесі експлуатації можуть бути пошкоджені елементи двигуна, що може привести до передчасного виходу з ладу [1].

Існує багато пристроїв для вивчення електродвигунів, і в цій галузі все ще існує багато серйозних проблем. Це пов'язано з подальшою нестачею продукції, витратами на ремонт і ремонт електродвигунів і порушенням безперервності технічних процесів ремонту звичайного виробничого процесу.

Метою даної роботи є розробка стенду для вивчення електричних властивостей асинхронних двигунів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз технічної літератури по існуючих методах та стендах для дослідження асинхронних двигунів;
- розробка стенду для дослідження електричних характеристик асинхронного двигуна;
- розрахунок асинхронного двигуна.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Рішення задачі здійснюється на основі принципу комплексного підходу, логічного аналізу, методів аналізу структури системи складних об'єктів, методів обладнання для дослідження електродвигунів, методів алгоритмізації та програмування.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Характеристики асинхронних електричних двигунів

Асинхронний двигун - один з найпопулярніших, надійних і недорогих перетворювачів, що перетворюють електричну енергію в механічну. Його розвиток протягом більше століття гарантується розробкою сучасних електроізоляційних і електроізоляційних матеріалів, розробкою нових конструкцій, інженерно-технічних рішень. Таким чином, поряд з багатьма іншими способами економії енергії за допомогою електроприводу, одним з найбільш ефективних є розробка асинхронних двигунів [1].

Асинхронні двигуни в даний час є найбільш поширеними електромеханічними. Вони споживають близько 40% електроенергії, виробленої у світі. Асинхронні двигуни дуже популярні завдяки простоті конструкції, низькій вартості і високій експлуатаційної надійності. Крім жовтневих достоїнств, асинхронний двигун має ряд недоліків-в процесі експлуатації можуть бути пошкоджені елементи двигуна, що може привести до передчасного виходу з ладу. Основними причинами відмови двигуна змінного струму є: пошкодження елементів статора і ротора, підшипників і т. д. збиток. Це згодом призводить до нестачі продукції, подорожчання ремонту і ремонту електродвигунів, а також до порушення безперервності технічних процесів з відновленням нормальних виробничих процесів. Процес автоматизації управління технічними процесами з використанням діагностики технічного стану електродвигуна в робочому режимі дозволяє мінімізувати збиток від цих наслідків за рахунок раннього виявлення дефектів [2].

Електричні машини, як і будь-який інший виріб, повинні відповідати всім вимогам, оскільки тільки в цьому випадку вони успішно виконують намічені функції.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Експлуатація електродвигуна в аварійному технічному стані призводить до прямих фінансових втрат, пов'язаних з непередбаченими відмовами обладнання і подальшим порушенням технологічних процесів, а також до значних додаткових витрат на електроенергію, що виникають в результаті підвищеного енергоспоживання. У зв'язку з цим дуже актуальним є питання діагностики асинхронних двигунів.

Поточний рівень розвитку електротехніки залежить від конструкції, продуктивності, здатності протистояти впливу зовнішніх факторів (температури, вологості) і т.д. для нього характерна велика різноманітність електричних машин, які розрізняються за своїм змістом. Отже, вимоги до цих машин також дуже різноманітні. Весь комплекс цих вимог ділиться на 2 види: технічний і економічний [3].

Діагностика електрообладнання з асинхронними двигунами, що працюють при чергуються і чергуються навантаженнях, зводиться до реєстрації великої кількості електричних параметрів і їх тимчасових характеристик. Роботи та обладнання можуть працювати в симетричному і асиметричному режимах з відсутнім напругою живлення, що сильно впливає на робочі характеристики асинхронних двигунів. Вивчення переходів пов'язане з короткочасним зникненням напруги живлення і експериментальним визначенням режиму самозапуску електрообладнання з пробоем напруги і провалом.

Залежно від кількості керуючих сигналів, використовуваних для управління електроприводом, існує 3 типи систем управління: вкл, викл, комбінований контур.

Система електроприводу, керована розімкнутим контуром, називається системою з розімкнутим контуром. Процес управління цією системою характеризується тим, що значення контрольованих величин (швидкості, крутного моменту) не вимірюються і не контролюються. Коригування проводяться тільки в одному напрямку [4].

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Система управління замкнутим контуром називається замкнутим контуром. 2. Одночасно використовуються два інформаційні сигнали: сигнал налаштування та зворотний зв'язок відповідно до фактичного значення керуючого значення.

Основний сигнал порівнюється з інформацією зворотного зв'язку, і в залежності від значення і знака отриманого сигналу на електроприводі по каналу виконується налаштується операція. Якість і точність системи зворотного зв'язку вище, ніж у відкритій системі.

В одній системі, керованій комбінованим циклом, об'єднані 2 системи: замкнута і відкрита. Якість і надійність електроприводу були значно поліпшені.

Управління асинхронним двигуном означає Підтримання незмінності пуску, регулювання швидкості, реверсу, гальмування, заданої швидкості, крутного моменту, потужності та інших параметрів, що забезпечують технічний процес працюючої машини.

Якщо пуск і регулювання електропроводки здійснюється за допомогою ручного пристрою управління (перемикач, кнопковий або пакетний перемикач, контролер, почніть регулювання реостата), це управління називається неавтоматичним або ручним. Керований таким чином двигун називається неавтоматизованим. Якщо при перевірці кабелю людина бере участь тільки в першому процесі перевірки, а подальша операція перевірки виконується різними пристроями (реле, Контактори), то необхідно захистити електричний ланцюг і електродвигун, щоб запобігти пошкодженню і безпечну роботу такого електрообладнання. Протектор встановлений в електричному ланцюзі живлення і ланцюга управління [3].

До основних видів захисту відносяться [5]:

- захист від короткого замикання силового кола або кола управління;
- максимальний захист від струму спрацьовує, коли струм перевищує встановлене значення протягом короткого періоду часу;
- захист двигуна від перевантаження по струму, що перевищує

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

номінальне значення, протягом тривалого часу;

- захист від самозапуску двигуна або нульовий захист від небажаних наслідків втрати і подальшої появи напруги в електромережі;;

- захист від перевантаження, що виникає в електричних ланцюгах.

Захист включає в себе контактор, що забезпечує досягнення певного набору дій в ланцюзі управління і регулює роботу окремого електрики, а також одночасну роботу контакторів реверсу і гальмування.

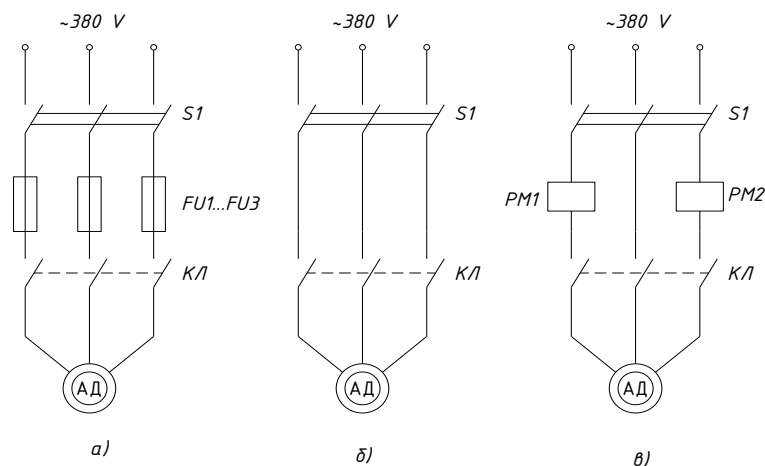


Рисунок 1.1 - Схеми захисту від КЗ

На рисунку 1.1 котушка струму реле а переключена на дві фази трифазного двигуна. У той же час поточне перекриття контактів живлення реле забезпечує захист мережі.

Контакти струмового реле замикають ланцюг управління пристроєм, що подає напругу на пошкоджену ділянку ланцюга.

На рисунку 1.1, б показана запобіжна захист трифазного силового кола двигуна. У цієї схеми є істотний недолік - при перегорання 1 запобіжника двигун працює в 2 фази, що призводить до перегорання. Немає такого недоліку в захисті двигуна автоматичним вимикачем (рис. 1.1, в) якщо всі 3 фази напруги живлення відключені при спрацьовуванні [6].

Захист двигуна від перевантаження по струму. Запобігає перегрів

двигуна при тривалій експлуатації. Для цього в коло трифазного двигуна включають 2 однополюсних або 1 2-фазне теплове реле.

Теплові елементи цих реле підключаються безпосередньо до ланцюга двигуна, зазвичай після головного контактора, або через трансформатор струму (рис. 1.2). Контакти теплового реле розміщені в ланцюзі управління.

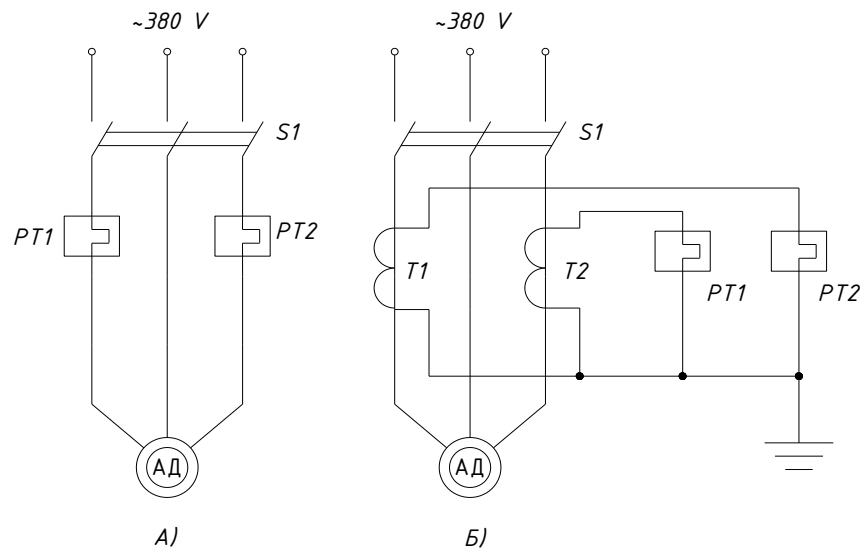


Рисунок 1.2 - Схеми захисту асинхронних двигунів від перенавантажень

Захист від перевантаження також здійснюється за допомогою автоматів з тепловими реле. У повторюваному короткочасному режимі захист від перевантаження здійснюється за допомогою 2 реле струму.

Використання теплових реле або реле струму забезпечує захист асинхронного двигуна від 2-фазної роботи.

Більш точна захист двигуна від перевантаження забезпечується термісторами, припаяними між деками обмотки статора.

Захист від перенапруги здійснюється за допомогою реле максимальної напруги, котушка якого підключена до вимірювальної електричної мережі. Це необхідно, якщо електропривод приводиться в дію окремим генератором або перетворювачем. Реле максимальної напруги відправляє відповідну команду в

коло регулювання напруги.

Процес автоматизації контролю технічних процесів з використанням діагностики технічного стану обладнання, в тому числі електродвигуна, в робочому режимі дозволяє мінімізувати пошкодження, викликані цими наслідками, шляхом раннього виявлення дефектів. Точний моніторинг і аналіз технічного стану дає можливість впровадити сервісну технологію в електродвигун. Тобто технічне обслуговування і ремонт проводяться в залежності від поточного технічного стану електродвигуна в процесі експлуатації. Хоча асинхронні двигуни дуже прості у використанні, компанії не витрачають достатньо часу на діагностику та технічне обслуговування, про що свідчить часта несправність цих двигунів. Беручи це до уваги, необхідно діагностувати стан двигуна в робочому режимі і розробити способи запобігання аварій і масштабних ремонтів [7].

Одним з методів дослідження є діагностика зламаних стрижнів в асинхронних двигунах великої потужності з порушенням струму витоку. Можна виявити наявність зламаних ребер, вивчивши спектр струму статора. Зламани ребра викликають компонент струму, індукований по частоті в обмотках статора. Сьогодні дуже важливо знати умови роботи двигуна в режимі реального часу, щоб знизити непередбачені поломки, час простою і експлуатаційні витрати. Під час роботи двигуна багатьох несправностей можна уникнути, беручи до уваги електричні та механічні несправності.

Таким чином, одним з методів дослідження є метод відстеження та інтенсивності магнітного потоку поблизу обертового ребра. Асинхронні двигуни (АД) являють собою складні електромеханічні об'єкти, що характеризуються наявністю поперечних зв'язків і неможливістю вимірювання параметрів і координат ротора в разі двигунів з коротким замиканням. Відомий класичний метод визначення параметрів схеми заміщення АТ. Зазвичай вони витримують випробування на коротке замикання та холостий хід. Вчені довели, що точність такого підходу

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

недостатня. Нещодавно дослідники запропонували метод визначення параметрів схем заміщення артеріального тиску. Однак складність асинхронного двигуна як предмета вивчення визначає те, що пропонований метод не дозволяє визначити всі параметри схеми перемикання двигуна. Або вони приймаються за певними припущеннями, і це також негативно впливає на якість ідентифікації, і вони вважаються одними з найнадійніших для визначення всіх параметрів схеми перемикання асинхронного двигуна [8].

Його суть полягає у виведенні послідовності струму, напруги і обертів двигуна при пуску. Потім моделюється запуск двигуна, шукаються його параметри, фіксуються експериментально і зіставляються перехідні процеси, отримані в результаті моделювання. Основним недоліком цього методу є тривалий час обчислень. Кожного разу, коли параметр змінюється, мені потрібно імітувати початок, але це займає багато часу. Але в пакетному режимі час не є обмеженням.

Зверніть увагу, що паспортними параметрами є розрахункові значення опору і індуктивності. Крім того, він може відрізнятись від реального. Дослідження Вр використовує новий двигун, який не працює. Параметри відремонтованого двигуна можуть відрізнятись від реальних майже на 20%. Тому, на мій погляд, найправильніше порівнювати результати ідентифікації з параметрами, і є найбільший збіг цих і переходів.

Суть роботи полягає в тому, що при такому з'єднанні обмоток статора сумарний вектор дека, що залежить від взаємної індукції між обмотками, дорівнює нулю. Отже, вхідний опір кола визначається тільки індуктивністю розсіювання. Якщо можливо, застосуйте знижену напругу (15-25% від номінальної напруги). Але Номінальна напруга також може бути застосована протягом короткого періоду часу. Щоб підвищити точність визначення параметрів, необхідно провести кілька вимірювань. 1. Один з найнадійніших для визначення всіх параметрів схеми перемикання асинхронного двигуна. Його суть полягає у виведенні послідовності струму, напруги і обертів двигуна

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

при пуску. Потім моделюється запуск двигуна, шукаються його параметри, фіксуються експериментально і зіставляються перехідні процеси, отримані в результаті моделювання. Основним недоліком цього методу є тривалий час обчислень. Кожного разу, коли параметр змінюється, мені потрібно імітувати початок, але це займає багато часу. Але в пакетному режимі час не є обмеженням. Щоб вивчити природу поверхні відгуку, розраховуються середньоквадратичні критерії якості для всіх можливих комбінацій широкого діапазону параметрів АТ. У дослідженні немає чіткої відповіді щодо координат ВР, що використовуються для розрахунку стандарту якості (струму або швидкості статора). Були вивчені властивості середньоквадратичних стандартів для обох цих координат. При наявності відкритого комплексу вимірювань і діагностики запускається двигун, за допомогою якого зчитується послідовність фазного струму, напруги і швидкості. Енергоефективність приводу періодично оцінюється, наприклад, під час енергетичного аудиту. Це завдання ставить перед собою завдання постійно і послідовно контролювати ефективність енергоспоживання приводу. Це дослідження не спрямоване на створення ідеальної математичної моделі приводу. Оскільки це сфера компетенції фахівців в області електроприводу, ми використовуємо тільки їх досвід. Це означає, що вам необхідно розробити високопродуктивну, компактну і економічну систему для моніторингу та аналізу енергоспоживання ваших накопичувачів. В експлуатації необхідно мати справу з режимами, які не стандартизовані в стандарті. Його найбільш характерною особливістю є швидка перемикавання передач, коли двигун періодично переходить в режим перевантаження і повертається до свого номінального значення або переходить в режим роботи з навантаженням, меншою номінальною [9].

Оціночний вибір електроприводу визначається його функціональним призначенням в технічному процесі і умовами експлуатації. У зв'язку з цим рекомендується розрізняти 2 групи електроприводів. До першої групи

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

належать електроприводи, в яких основним є статичний режим роботи з постійною або повільно змінюється навантаженням. 2. До групи входять електроприводи, що працюють в основному в динамічному режимі, що пов'язано з розвитком швидкозмінних керуючих дій і порушень. Згадані фактори визначають різницю в способах вирішення проблеми контролю енергоефективності приводу.

Асинхронні двигуни, як правило, розраховані на термін служби 15-20 років без капітального ремонту, якщо працюють справно. Зрозуміло, що для правильної роботи АД потрібно, щоб електродвигун працював відповідно до номінальними параметрами, зазначеними в паспортних даних. Однак в реальному житті існують значні відхилення від номінального режиму роботи. В першу чергу, це низька якість напруги живлення і порушення правил технічної експлуатації. Технічне перевантаження, умови навколишнього середовища (висока вологість, температура), низький опір ізоляції, порушення охолодження. За допомогою таких інструментів моніторингу та аналізу можливе профілактичне обслуговування електроустановок. Насиченість парку електромобілів при ремонті обумовлює досить високу вартість усвідомленого ремонту електрообладнання. У той же час, висока аварійність електромеханіки полягає не в тому, що якість ремонту таке низьке, як зміна властивостей конструкційних матеріалів (в основному електротехнічної сталі), перерозподіл втрат двигуна, зміни теплового балансу, енергоспоживання. перетворювач під час роботи електроприводу. Процес характеризується тим, що активна і неприпустима потужність перетворення залежать від швидкості і крутного моменту двигуна. Що стосується енергоспоживання, необхідно чітко розуміти природу перетворення енергії, силову складову, показники якості електроенергії та їх вплив на характеристики електромеханічного перетворювача [10].

Використання енергії - це використання електроенергії, що споживається від мережі. Цей показник характеризує якісну сторону процесу

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

енергоспоживання. Він показує, наскільки ефективно витрачається споживана електроенергія, яка частина пов'язана з втратами, а яка частина пов'язана з корисною потужністю, що надходить на вал робочої машини, як розподіляються втрати, визначає режим роботи, температуру і надійність електродвигуна.

Найбільш важливим щодо використання енергії є баланс силової складової, що дозволяє визначити механізм старіння електрообладнання, крім того, що відомо, в основному щодо теплових характеристик впливу енергетичних процесів на робочі характеристики і робочі характеристики.

В управлінні енергоспоживанням використовуються технічні пристрої і системи, які впливають на схеми управління електроприводами і перетворювальними пристроями, що живлять ці середовища. Управління енергоспоживанням включає управління перерозподілом втрат електродвигуна, оптимізацію втрат, мінімізацію нагріву активної частини електромеханічної машини, зниження рівня споживаної реактивної потужності [11].

Використання послідовних асинхронних двигунів в напівпровідникових приводах не є оптимальним за вагою, розмірами, енергії та іншими показниками. Тому необхідно розробити спеціальний регульований асинхронний двигун з поліпшеними характеристиками управління, запуску, динаміки і віброакустики. Використання замість звичайних промислових асинхронних двигунів регульованих асинхронних двигунів, розроблених з урахуванням деталей роботи в керованому електроприводі, дозволяє значно знизити вагу, габарити і вартість електроприводів, а також поліпшити їх функціональні характеристики. Якщо двигун оптимально розроблений для регулювання частоти, ви можете отримати на 25% більше потужності, ніж звичайний промисловий двигун такого ж розміру, або ви можете отримати їх з однаковою потужністю [13].

Технічні передумови для забезпечення переваг адаптованого двигуна в

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

порівнянні з виробничою машиною полягають в наступному [12]:

- усунення вимог до пускових характеристик (завдання забезпечення кратності пускових і максимальних моментів не ставиться), що забезпечують мінімальний ефективний опір обмоток ротора і менший розподіл індуктивностей, у зв'язку з правильною формою канавки ротора може бути реалізовано (наприклад, віднімання глибоких моментів). канавка);

- необхідна частота обертання в залежності від частоти подачі двигуна виробничого механізму, кількості полюсів обмоток статора і передавального числа трансмісії може визначатися різними комбінаціями цих 3 значень;

- перевантажувальна здатність АД може дещо знизитися, оскільки система приводу контролює параметри подачі напруги або струму двигуна;

- використання ефективної системи самоохолодження і, при необхідності, примусового охолодження;

- можливість вибору оптимального співвідношення нестандартних значень напруги і частоти розробленого двигуна, відмінного від базового, що збігається з номінальним значенням перетворювача, що знижує вагу і габарити;

- посилити ізоляцію обмотки обмотки статора для захисту від імпульсного перенапруги;

- використання відповідних підшипників з урахуванням як високої швидкості обертання, так і появи потоку прийому підшипників при високочастотному перемиканні (наприклад, деякі компанії, такі як АВВ, використовують керамічні кульки і т.д.). Вони рекомендували використовувати підшипники з внутрішніми або зовнішніми кільцями, які ізолювані за допомогою матраци з внутрішнім або зовнішнім кільцем. в рекламі контролю частоти).

Конструкція асинхронного двигуна має 2 налаштування, які можна регулювати відповідно до технічних характеристик. Перше формулювання-це конструкція пристрою відповідно до характеру і величини навантаження з

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

відповідним законом частотного регулювання в певному грудні управління. 2. Це конструкція асинхронних двигунів, які можна регулювати для різних навантажень. Саме так компанія Siemens розробила двигуни серії ROTES. Грудень грудня в цьому випадку в результаті проектування визначається діапазон управління, в якому задана потужність постійна, або, навпаки, визначається потужність, для якої заданий заданий діапазон управління. Регульовані асинхронні двигуни можуть бути сконструйовані у вигляді серії (ROTES) або модифікації електричної серії (серія AI) на основі базової конструкції. Рішення проблеми модифікованої конструкції полягає в цільовому перерахунку з використанням базової процедури оптимізації серійного двигуна.

1.2 Методи вимірювання характеристик асинхронних двигунів

При розгляді існуючих методів дослідження асинхронних двигунів були визначені їх переваги і недоліки. Вивчення характеристик асинхронних двигунів як в бортовому, так і в непереборному режимах роботи проводилося на основі тих, які призначені для їх поліпшення і підвищення якості [14].

Основним напрямком розвитку сучасних дослідницьких технологій є автоматизація, що передбачає перехід від автоматизації вимірювань до комплексної автоматизації всього дослідницького процесу.

Вивчення роботи асинхронних двигунів при роботі зі змінними і змінними навантаженнями зводиться до реєстрації великої кількості електричних параметрів і їх тимчасових характеристик. Робота АД в симетричному і асиметричному режимах з неповною формою напруги живлення сильно впливає на його початкові характеристики.

Вивчення перехідних явищ пов'язано з короткочасним зниженням напруги живлення і пробоем напруги, а також із зануренням і експериментальним визначенням режиму самозапуску електрообладнання.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Експлуатаційні характеристики побутових приладів визначаються експлуатаційними характеристиками в установленому режимі роботи, основною з яких є залежність коефіцієнта корисної дії від механічної потужності механічного $n=f(m)$, електромеханічного $\Pi=F(m)$, енергії $P_1=F(P_2)$, валу $n=F(P_2)$ і $\cos \varphi=F(m)$. [15].

До числа основних особливостей режиму без підігріву відносяться пускові характеристики. $M=F(t); n=F(t); I=F(t)$.

Рекомендується використовувати систему повернення енергії в мережу для зниження енергоспоживання під час випробувань з прямим навантаженням. Величина і характер ВР навантаження (двигуна, генератора) визначаються значенням і напрямком (відміткою) повзунка S.

Для вимірювання швидкості обертання використовуються n , об/хв, контактні і безконтактні методи.

У дослідженні АД останнім часом широко використовується безконтактний метод з використанням електронного тахометра.

Точність вимірювань цього методу настільки висока, що невелику різницю в швидкості обертання (прослизання) можна визначити з похибкою 0,01% або менше.

Щоб отримати надійні дані для визначення ефективності і додаткових втрат при роботі ВР, необхідно гарантувати високоточне вимірювання крутного моменту, оскільки це визначає точність вимірювання механічної міцності вала.

Вимірювання крутного моменту вала АД може бути виконано двома способами: за допомогою балансувального і торсіонного вимірювача крутного моменту [16].

У методі балансування АД підключається до гальмівного пристрою і, в залежності від значення моменту, може бути алюмінієвим диском, що обертається в магнітному полі, створюваному полярною системою, або генератором, що працює від зовнішнього навантаження. Щоглова система

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

гальмівного вузла або корпусу генератора підвішена таким чином, що під дією крутного моменту, Рівного крутного моменту на валу, вони можуть одночасно обертатися і переміщатися по вимірювальній системі. Щоб зменшити похибку вимірювального приладу, його окрема калібрування (без обертання) виконується шляхом прикріплення еталонного ваги до обертового корпусу.

При використанні методу торсіонного вимірювача крутного моменту кут кручення, пропорційний прикладеному крутному моменту, дуже малий (близько $0,5^\circ$). Для його вимірювання використовуються 3 методи: індукційний, 2 методи контрперемикання обмоток індукторного генератора і метод вимірювання спотворень [17].

Вимірювання моментів в неусталених режимах дають можливість визначення важливих характеристик АД – $M=F(s)$. Характерною точкою кривої $M=F(s)$ (рис.1.3) являються: запусковий момент M_n при $s=1$, мінімальні моменти в процесі розгону M_{min} при s_{min} , максимальні моменти M_{max} при $s_{кр}$ і номінальні моменти $M_{ном}$ при $s_{ном}$.

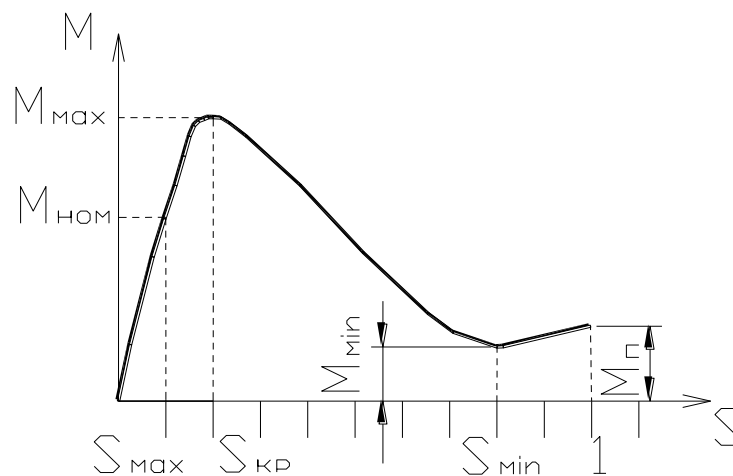


Рисунок 1.3 - Механічна характеристика АД

Момент $M_{п}$, M_{min} , M_{max} пов'язані з більшими струмами (пусковими струмами, які можуть в 5-7 разів перевищувати номінальні) і визначення даних моментів вимагає використання спеціальних методів. Момент $M_{п}$ і M_{max}

можуть бути дослідженні при певних пониженнях напруги з наступною екстраполяцією в номінальну напругу.

Для визначення залежностей $M=F(n)$ (або $M=F(\omega)$) використовують 3 методи [18]:

- методи визначення прискорення ротору при наборі обертів двигуна на холостому ході;

- методи вимірювання моменту, що діє на корпус за допомогою тензодатчиків або п'єзодатчиків;

- квазістатичні способи шляхом механічного з'єднання АД через торсіонні моментоміри з навантажувальними генераторами, характеристики якого $M_H=F(n)$ дозволяють двигуну постійно працювати в кожній точках кривої $M=F(n)$ двигуна.

Умови стійкості роботи систем двигун-навантажувальні пристрої, представляє собою виконання нерівності (рис. 1.4):

$$\frac{dM_H}{dt} > \frac{dM_D}{dt} \text{ або } \operatorname{tg}\alpha_H > \operatorname{tg}\alpha_D \quad (1.1)$$

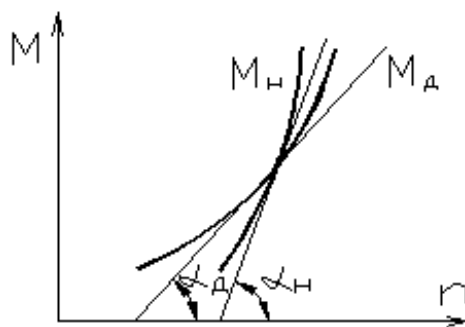


Рисунок 1.4 - Умови стійкої роботи систем двигун-навантажувальні пристрої

Чим більші кути α_H , тим стійкішою працює системи, а при $\alpha_H=90^\circ$ її можна забезпечувати у кожній точці кривої $M_D=F(n)$. Такі характеристики

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

мають, наприклад, синхронні генератори, які працюють на мережу з постійною частотою, що може регулюватися в даних межах (рис.1.4).

Можна отримати характеристики, близькі до показаних на рис.1.4 можна використовувати генератор постійного струму, що живиться від мережі змінного струму через Реверсивний тиристорний перетворювач (інвертор), який підтримує постійну задану частоту обертання (рис.1.5). Схема включає автоматичну реєстрацію крутного моменту і частоти обертання за допомогою пристрою автоматичного вимірювання і реєстрації частоти обертання генератора навантаження і досліджуваного двигуна протягом заданого часу.

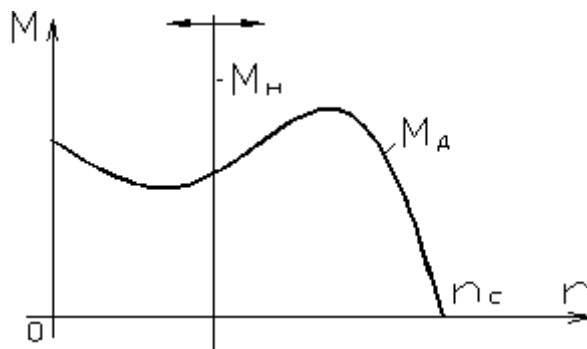


Рисунок 1.5 - Умови стійкості обертання АД з навантажувальними пристроями у виді синхронних генераторів

Робочі характеристики асинхронних машин (АМ) побутової техніки визначаються електричними характеристиками в усталених режимах роботи основним з яких являється механічна $n=F(M)$, електромеханічні $I=F(M)$, енергетичні $P_1=F(P_2)$ і залежності коефіцієнтів корисної дії від механічної потужностей на валу $\eta=F(P_2)$ і $\cos\phi=F(M)$ [16].

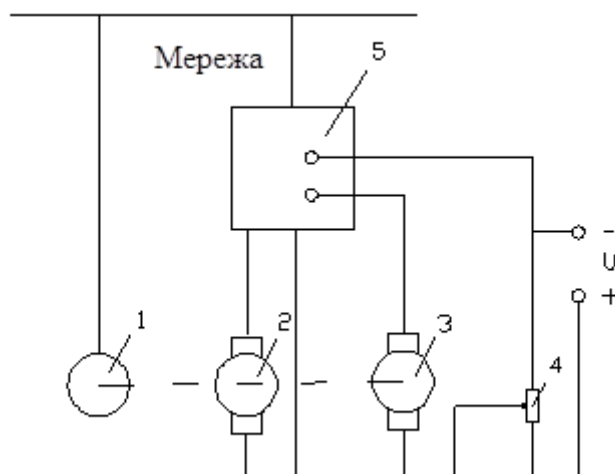
До числа основних особливостей неусталеного режиму відносять пускові характеристики $M=F(t)$, $n=F(t)$, $I=F(t)$.

Для зниження енергоспоживання при безпосередньому навантажувальному тестуванні рекомендується використовувати систему електропостачання від мережі. Величина і характер навантаження (двигун, генератор) ВР визначається значенням і напрямком (знаком) повзуна S.

Для вимірювання частоти обертання n , оборотів в хвилину використовуються контактний і безконтактний методи. При дослідженні артеріального тиску останнім часом широко застосовується безконтактний метод з використанням електричного тахометра. Точність вимірювання цього методу настільки висока, що невелика різниця в частоті обертання (ковзання) може бути визначена з похибкою 0,01% або менше [15].

Для отримання надійних даних для визначення ККД і додаткових втрат при дослідженні АТ має бути гарантовано високоточне вимірювання крутного моменту, оскільки воно визначає точність вимірювання механічної потужності вала.

Вимірювання крутного моменту на валу АД можна проводити двома способами за допомогою ваг і вимірювача крутного моменту на кручення (рис. 1.6).



1 - АД, який досліджується, 2 - навантажувальний генератор, 3 - тахогенератор, 4 - потенціометр, 5 - реверсивний тиристорний перетворювач
Рисунок 1.6 - Пристрій для зняття кривої $M=F(S)$ з навантажувальними генератором і тиристорним перетворювачем

При балансувальному методі АД підключається до гальмівного пристрою і, в залежності від величини моменту, може являти собою

алюмінієвий диск, що обертається в магнітному полі, створюваному системою полюсів, або генератор, що працює від зовнішнього навантаження. Система полюсів гальмівного пристрою або корпусу генератора підвішена таким чином, що під впливом крутного моменту, Рівного крутного моменту на валу, вони можуть обертатися і одночасно впливати на вимірювальну систему. Щоб зменшити похибку вимірювального приладу, виконується його окрема калібрування (без обертання) шляхом прикріплення еталонної шкали до обертового корпусу.

Вимірювання швидкості обертання валу електромеханічної машини при виконанні лабораторних робіт є найбільш важливим видом вимірювань, оскільки точність цього вимірювання сильно впливає на результати експериментів.

Існує кілька способів вимірювання швидкості обертання, серед яких найбільш поширеними методами в лабораторії є тахометри, тахогенератори і стробоскопи.

Існує 2 типи тахометрів: відцентрові і тимчасові. Основним елементом є відцентровий регулятор, який з'єднаний з муфтою, здатної переміщатися уздовж осі. Через зубчасту передачу муфта з'єднана зі стрілкою, що вказує швидкість обертання на шкалі. Недоліком цього способу є те, що механічне навантаження на тахометр сама по собі впливає на роботу малопотужних машин [14].

Тахометр тимчасового типу використовується для дослідження машин потужністю понад 50 Вт, оскільки він не створює великого навантаження на вал машини. Такий тахометр складається з лічильника і годинникового механізму. Якщо тахометр суміщений з валом електромеханічної машини, лічильний механізм відзначає кількість обертів вала машини за певний час, протягом якого стрілка тахометра відхиляється і вказує частоту обертання на шкалі.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Генератор являє собою датчик частоти обертання, в якому знімається електричний сигнал, пропорційний частоті обертання. Відправляючи цей сигнал на електровимірювальний пристрій, шкала якого відкалібрована в одиницях частоти обертання, можна безперервно контролювати частоту обертання вала випробувальної машини.

Стробоскопічний метод більш універсальний при вимірюванні швидкості обертання, а для машин зі значно меншою потужністю (менше 50 Вт) він є єдиним. Суть методу полягає в тому, що обертається деталь підсвічується лампочкою певної частоти миготіння. Тут використовуються ртутні або неонові лампи. Якщо частота спалаху лампи більше частоти обертання деталі, то створюється враження, що вона обертається в напрямку, протилежному фактичному напрямку обертання, а якщо частота спалаху менше частоти обертання деталі, то створюється враження, що деталь обертається в фактичному напрямку обертання вала. Чим менше різниця між частотою обертання деталі і миготінням лампи, тим повільніше здається обертання деталі.

На сьогоднішній день стало можливим широке використання мікросхем. Це зробило більш можливим використання електронних вимірювальних приладів. На рисунках 1.4 і 1.5 показана схема пристрою для вимірювання частоти обертання вала цього типу.

Тахометр, показаний на рисунку 1.4, призначений для вимірювання частоти обертання вала двигуна. Вимірювальний сигнал подається в Генератор імпульсів, вбудований в елемент DD6.1, DD6.2, R2 та R3.

Сформований сигнал поступає на входи лічильника (DD1; DD2).

Декодер DD3; DD4IC перетворює двійково-десятковий код на лічильнику в 7-сегментний код індикатора, а також забезпечує проміжну пам'ять, усуваючи мерехтіння цифр під час підрахунку, візуальне розпізнавання кількості обертів видається пристроєм, виконаним поверх dd5ic. Чим вище частота обертання, тим вище стовпчик світиться світлодіода. Висота

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

стовпчика люмінесцентних світлодіодів залежить від вихідної напруги 17dd5, яке залежить від частоти обертання. Перетворення частоти в напругу забезпечується елементами VT1, R10-R13, C5 і с6. Особливістю даної схеми є те, що датчик швидкості складається з 0,5-1,0 витків дроту ПЕВ-1 діаметром 50,70 мм і котушки, вкладеної в котушку на високовольтному дроті від індукційної котушки до розподільника. У той же час дана функція також є недоліком, оскільки пристрій не може вимірювати кількість обертів вала електродвигуна. Принцип роботи тахометра показаний на малюнку 1.5.

Тахометр, як згадувалося вище, являє собою цифровий частотомір з постійним часом вимірювання. Ця схема працює наступним чином: світловий потік, що випромінюється світлодіодом оптрона ОР, модулюється світловідбиваючої стрічкою, приклеєною до стрижня.

Модульований світловий потік сприймається фотодіодом оптопари, який потім посилюється і формується в uF-формувачі підсилювача. Посилений і згенерований сигнал інвертується і подається на перший вхід схеми "і". Задає генератор G виконаний відповідно до кристалічним стабілізатором частоти і видає сигнали з частотами 64 Гц і 1 Гц. Сигнал частотою 64 Гц використовується для управління цифровим індикатором. Сигнал з частотою 1 Гц подається на тригер Т, який генерує вимірювальний імпульс тривалістю 1 секунду. Вимірювальний імпульс подається на 2-й вхід схеми "ТА". Крім того, вимірювальний імпульс подається на генератор обертових імпульсів F. коли тахометр працює, на виході схеми "і" генерується пакет імпульсів, який подається на вхід 4-розрядного 10-розрядного лічильника з підключеним до його виходу цифровим покажчиком. Перед початком кожного циклу відображення формувач генерує імпульс, який переводить його в нульовий стан. Розрахунок електричної схеми зводиться до розрахунку баластного опору світлодіода [16].

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

1.3 Стенди для дослідження електричних характеристик асинхронних двигунів

Аналіз параметрів електродвигунів як елемента навантаження приводного агрегату в ході випробувань був розроблений тиристорний регулятор напруги асинхронного двигуна. Тиристорні Регулятори напруги (ТРН) широко використовуються для регулювання параметрів асинхронних електроприводів. Він характеризується економічною і плавним регулюванням координат об'єктів управління асинхронним двигуном. Схема живлення TRN передбачає наявність трьох пар силових тиристорів, з'єднаних в зворотному паралельному режимі, і схеми імпульсно-фазового управління (сифу), як показано на рис. 1.7.

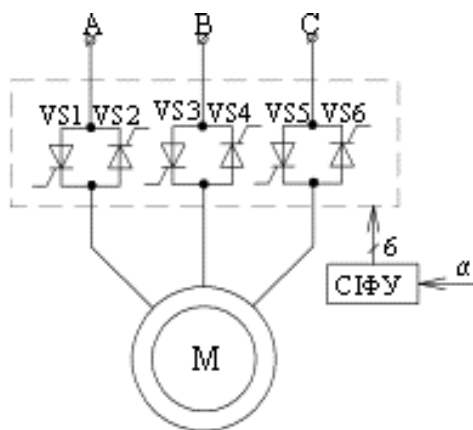


Рисунок 1.7 - Розімкнута система тиристорного регулятора напруги асинхронного двигуна

Практичне значення має вивчення умов використання TRN в якості координатного регулятора для режиму рекуперативного гальмування асинхронних двигунів. Цей режим може виникати при роботі шахтного конвеєра *bremberg* або при роботі шахтного комбайна в похилих і крутих пластах.

Режим рекуперативного гальмування асинхронних машин (AM) економічний, оскільки енергія, що виділяється при гальмуванні, повертається

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

в електричну мережу. Це дозволяє уникнути розсіювання енергії у вигляді тепла в активній частині машини. Останнє може призвести до порушення теплової роботи АМ, внаслідок чого це може призвести до руйнування ізолятора [17].

Режим рекуперативного гальмування є базовим для роботи на навантажувальному стенді. Принцип обкатки полягає у взаємному навантаженні двох ідентичних приводних блоків асинхронним двигуном середньої потужності, кінематично з'єднаних один з одним через прискорювальний редуктор. Кожен приводний блок включає в себе асинхронний двигун, гідромуфту і коробку передач. Сьогодні використовуються тиристорні навантажувальні пристрої TNU-55, TNU-110 і TNU-400, розраховані на 55, 110 і 400 кВт відповідно. Принцип регулювання рівня навантаження тестованого приводного пристрою пристроями TNU полягає у використанні TRN в ланцюзі статора асинхронних двигунів, що працюють в моторному режимі (ADR), в той час як асинхронні двигуни, що працюють в режимі рекуперативного гальмування (ADG), підключаються безпосередньо до мережі живлення (рис. 1.8, а) [18].

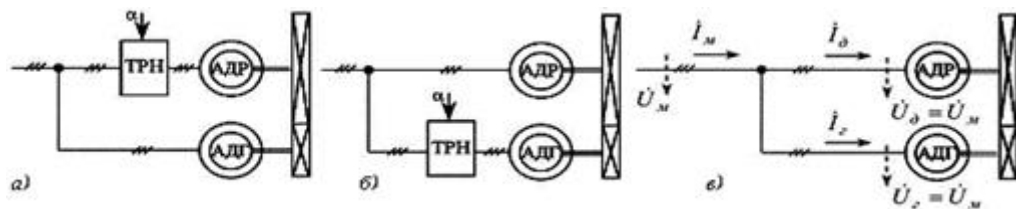


Рисунок 1.8 - Спрощені структурні схеми навантажувального стенда:
 а - TRN встановлений в ланцюзі АДР; б - TRN - в ланцюзі АДГ; в - система при відсутності регулювання

Використання TRN в ланцюгах статора АDR виявило суттєві недоліки, пов'язані зі значним збільшенням струму, споживаного цим двигуном [1]. Ці негативні явища можна усунути, скоригувавши координати ADG за

допомогою TRN, за умови, що ADR безпосередньо підключений до електричної мережі (рис. 1). 1.8, b).

Отже, необхідний комплексний аналіз системи TRN-ADG, щоб з'ясувати, як сформувати проміжний рівень навантаження приводного пристрою під час випробування. Щоб знайти ефективний спосіб зміни координат розглянутої електромеханічної системи за допомогою тиристорного регулятора напруги, необхідно знайти параметри, закономірності та властивості взаємодії системи, що складається з асинхронного двигуна та генератора зі статичним напівдетермінованим перетворювачем змінної напруги [17].

Робота АМ в режимі рекуперативного гальмування проаналізована в [2]. Монографія включає аналітичні формули, векторні діаграми, механічні властивості і енергетичні співвідношення, що характеризують зазначений режим роботи асинхронних машин.

Загальний принцип роботи ТРН з навантаженням з довільним фазовим кутом, а також особливості функціонування, структури і використання тиристорних регуляторів для управління пусковим гальмуванням і спеціальними режимами роботи асинхронних електроприводів описані в [3]. Завдання тиристорного управління координатами асинхронних електроприводів, що працюють в режимах пуску і гальмування, статичний і динамічний режими роботи таких електроприводів полягають в наступному [4].

У зазначеній спеціальній літературі при аналізі режимів гальмування систем TRN-асинхронних двигунів, незважаючи на переваги цього методу, рекуперативним гальмуванням дослідники як і раніше нехтують, але перевага віддається динамічному, конденсаторному та іншим видам гальмування. [1] показана процедура побудови комп'ютерної моделі навантажувального стенду НМЗ і проаналізовані негативні явища, що існують при експлуатації системи. Проблема взаємодії тиристорних регуляторів змінної напруги і асинхронних

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

двигунів докладно висвітлена в цих літературних джерелах. Виходячи з необхідностей вирішення прикладної задач регулювання навантаження приводного агрегату під час випробування, необхідно визначити параметр і характер регулювання асинхронного генератора з використанням TRN в ланцюзі статора. Вирішення цієї проблеми дозволить модернізувати схему навантажувальних стендів, встановлених на ХМЗ, з метою усунення існуючих недоліків.

Метою даного дослідження є вивчення властивостей регулювання координат в системі тиристорний регулятор напруги-асинхронний двигун на прикладі схеми випробувального стенду для блоку приводу скребкового конвеєра. Щоб прояснити фізичну природу процесу в навантажувальному стенді з різними схемами підключення TRN (рис. 1). 1.8, А, б), мені потрібно побудувати узагальнену векторну діаграму системи, яка не має довільного управління (рис. 1.8, А, б). 1.8,с). В цьому випадку, завдяки паралельному підключенню обмоток статора двигуна, в якості вихідного вектора при складанні схеми використовується вектор мережевої напруги, який дорівнює вектору напруги на клеммах АДР і АДГ:

$$\dot{U}_M = \dot{U}_D = \dot{U}_G \quad (1.2)$$

Вектори струма статорів АДР \dot{I}_D та АДГ \dot{I}_G відстають від \dot{U}_M на величини відповідних фазових кутів φ_D і φ_G (рис. 1.9). Вектори струму в загальній мережі \dot{I}_M утворюються геометричним складанням векторів \dot{I}_D та \dot{I}_G :

$$\dot{I}_M = \dot{I}_D + \dot{I}_G \quad (1.3)$$

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

2 РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

2.1 Розробка структурної схеми стенду

Структурна схема стенду для дослідження електричних властивостей БП показана на рис. 2.1. Для забезпечення реєстрації великої кількості електричних параметрів і їх тимчасових характеристик, в перехідних режимах, а також при змінних і знакозмінних навантаженнях, неповних формах напруги живлення, симетричних і асиметричних режимах роботи для роботи БП використовуються персональні комп'ютери на стендах.

Електронний симісторний пускач використовується для запуску реклами. Симістор управляється з ПК за допомогою оптосимісторного вузла. Блок гальванічної розв'язки живиться від джерела живлення + 12 В. Напруга, пропорційне струму в лінійному дроті, за допомогою вузла масштабного перетворювача через блок гальванічної розв'язки подається на пристрій пі USB-6009. Блок управління живиться від джерела живлення + 6 в.

Дані про напругу живлення, струмі і споживаної потужності передаються на ПК через пристрій пі USB-6009.

Використовуючи програмне середовище LabVIEW, ви можете автоматизувати процес вимірювання, обробки сигналів, перегляду та архівування результатів експериментів для побудови механічних, електромеханічних і пускових характеристик у встановлених і неушкоджених режимах. Блок управління також управляється з ПК за допомогою розробленої програми LabVIEW8.5.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

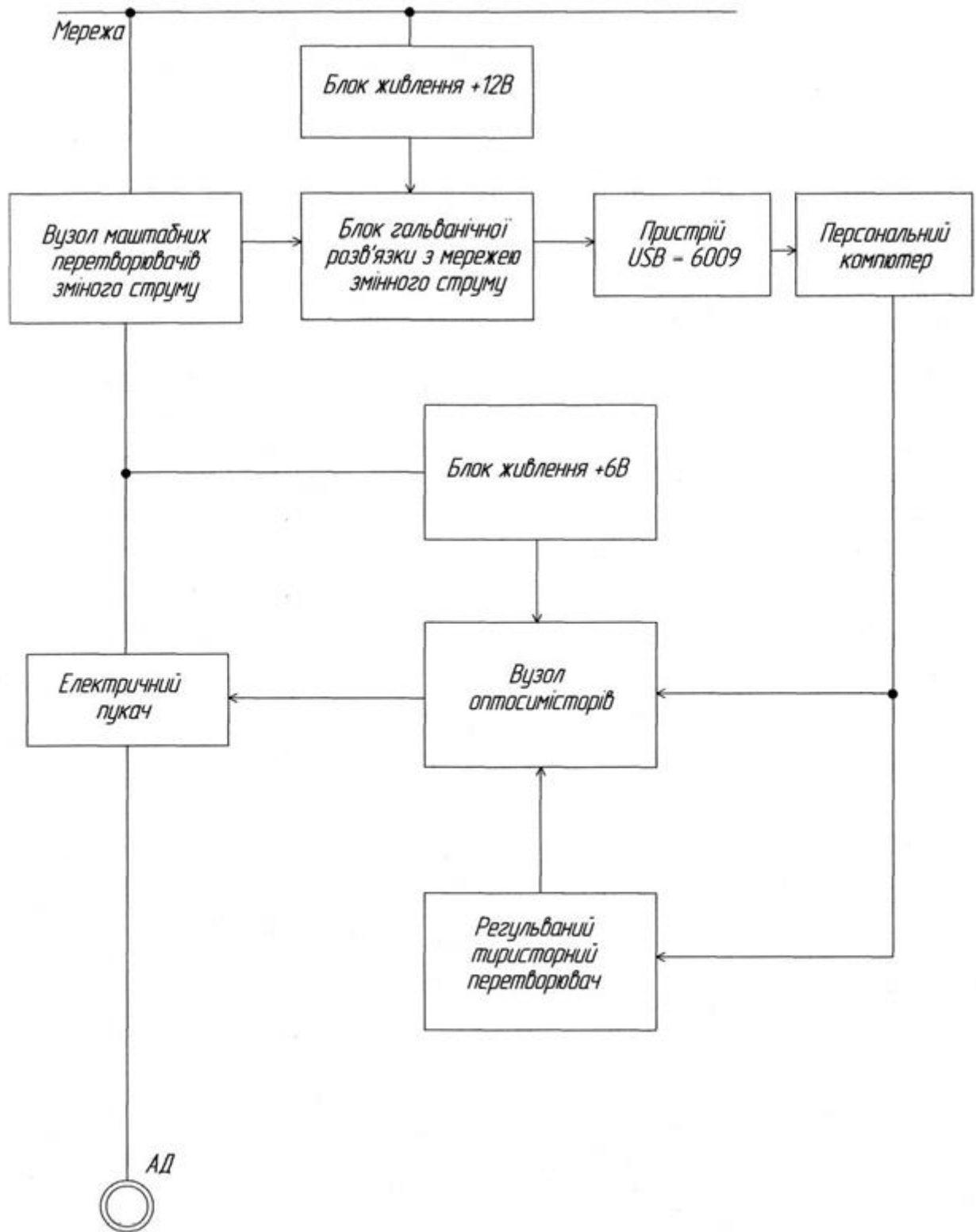


Рисунок 2.1 - Структурна схема стенду для дослідження електричних характеристик АД

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

34

2.2 Розробка електричної схема блоку керування та розрахунок його основних елементів

В ході розробки стенду була розроблена електрична схема блоку управління для вивчення електричних характеристик асинхронного двигуна (рис. 2.2).

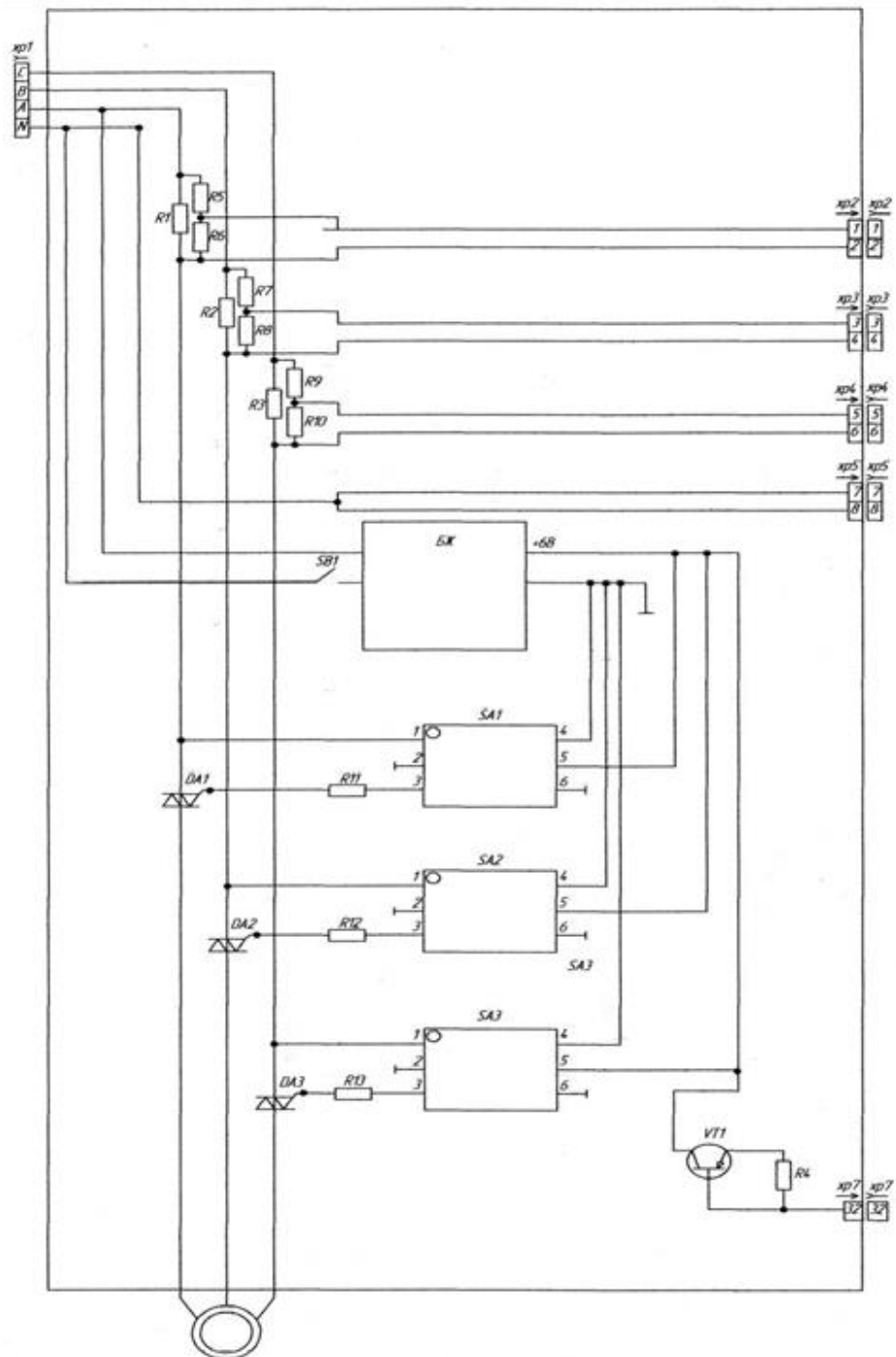


Рисунок 2.2 - Схема електрична принципова блоку управління

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

35

Давайте розрахуємо основні елементи електричної схеми блоку управління.

1) Розрахунок шунтів.

Опір шунта визначається з формули:

$$R_{ш} = \frac{U_{ш}}{I_{ш}} = \frac{0,1}{1} = 0,1 \text{ Ом},$$

де $I_{ш} = 1 \text{ А}$ - струм шунта;

$U_{ш} = 0,1 \text{ В}$ - напруга шунта;

$R_{ш} = 0,1 \text{ Ом}$ - опір шунта.

2) Розрахунки дільника напруги на опорах R1, R2, R3:

$$U_{ВХ} = U_{ш} \cdot \frac{R_2}{R_1 \cdot R_3} = 0,1 \cdot \frac{10}{98} = 0,0102 \text{ В} = 10,2 \text{ мВ}$$

3) Розрахунки дільника напруги:

$U_{ш} = 0,1 \text{ В}$ - напруга шунта,

$I_g = 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ А}$ - струм дільника.

4) Сумарні опіри дільника:

$$R_1 + R_2 = \frac{U_{ш}}{I_g} = \frac{0,1}{0,001 \cdot 10^{-3}} = 100 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

Приймаємо $R_1 + R_2 = 98 \text{ кОм}$.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Задаємося $R_2 = 10\text{кОм}$.

Тоді як:

$$R_1 = (R_1 + R_2) - R_2 = 98 + 10^3 - 10 \cdot 10^3 = 88\text{кОм}$$

5) Обираємо згідно номінальних рядів опір резистора типу С2–23.

Відповідно:

$$R_5 - R_7 - R_9 = 88\text{кОм} \pm 1\%,$$

$$R_6 - R_8 - R_{10} = 10\text{кОм} \pm 1\%.$$

Вибір комутуючих ключів.

Вихідні дані:

- напруга мереж - трьохфазна 380В,
- номінальний струм двигуна 1А.

Обираємо симістор DA1-DA3 ВТ 139.600Е, оптосимістор SA1-SA3 типу МОС3062, фірми MOTOROLA для якого $U_r = 6\text{В}$ напруга управління, струм управління $I_F = 60\text{мА}$, потужність $P_d = 120\text{мВт}$,

6. Інші елементи - вибір ключа управління оптосимістор від ЕОМ, малопотужний транзистор VT1 тип КТ 342А, вихідні дані $P_{\text{max}} = 250\text{мВт}$, $U_{\text{ке}} = 30\text{В}$ напруга колектору, $I_a = 300\text{мА}$ струм колектору, обираємо резистор R4 = 300Ом $\pm 5\%$ типу С2 – 23.

2.3 Розробка блоку гальванічної розв'язки

При обстеженні електричної мережі для визначення якості електричної енергії використовується велика кількість спеціалізованих

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

пристроїв і вимірювальних систем для побудови графіка ефективного енергоспоживання, зміни реактивної потужності, перевірки пристрою і системи обліку, вибору обладнання, виявлення витoku електроенергії, визначення несправності електрообладнання та дослідження роботи електрообладнання в перехідному режимі. Як правило, це ті перепрограмовані мікропроцесори пристроїв. При вирішенні певних завдань з великою кількістю реєстрованих характеристик часто неможливо вирішити задачу вимірювання за допомогою одного пристрою і представити вимірювальну інформацію в потрібному форматі. Для вирішення такого завдання найкраще підходить технологія створення віртуального обладнання від national instruments.

Найбільш поширені трифазні мережі та обладнання з лінійною напругою 0,4 кВ. реєстрація найвищої напруги здійснюється через трансформатор. Трансформатори для вимірювань струму і напруги спотворюють вимірювальну інформацію. Для перевірки мережі та обладнання необхідно одночасно реєструвати миттєві значення трифазного або лінійного напруги і чотирьохфазного струму. Іноді реєструється додаткове миттєве значення 4-го напруги-напруга між нейтраллю. Відповідно до завдань дослідження, аналіз стану електричних мереж і обладнання в сталому і перехідних режимах здійснюється шляхом обробки систем струму і напруги за певними алгоритмами. Залежно від кількості аналогових входів задача вимірювання вирішується за допомогою пристроїв збору даних пі USB-6009 без трансформаторної ізоляції пристрою в розглянутій мережі. Сам пристрій NI USB-6009 не має схеми гальванічної розв'язки на вході, і для використання в промислових мережах потрібна ізоляція за допомогою додаткових пристроїв.

Перетворювач призначений для лінійного перетворення і нормалізації вихідних сигналів різних датчиків і електронних компонентів, на виході яких є як стандартні, так і нестандартні електричні сигнали.

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Сигнал надходить на вхід перетворювача і відправляє його на вихідний блок через відсікає ізоляцію, яка відфільтровує формат нормативного вихідного сигналу.

Вбудований перетворювач постійного / постійного струму з ізоляцією трансформатора забезпечує подачу вхідних сигналів від каналу до каналу і подачу груп вихідних ланцюгів.

Конструктивно перетворювач являє собою пластиковий корпус, що складається з 2 закривають один одного кришок. Усередині корпусу знаходиться друкована плата з 2 10-контактними роз'ємами. Щоб захистити елементи, розміщені на друкованій платі, від зовнішніх впливів, плати і елементи покриті шаром ізоляційного акрилового лаку марки APL виробництва Electrolube. Корпуса призначені для монтажу на DIN-рейку або настінного монтажу.

Корпус монтується на плоскій поверхні за допомогою DIN-рейки або пластикової монтажної опори, що дозволяє швидко і зручно встановлювати перетворювач.

Перетворювач призначений для перетворення вхідного сигналу постійного струму в нормалізований гальванічно ізольований сигнал постійного струму. Функціональна діаграма показана на рис. 2.3.

Ізолюючі підсилювачі DA4-DA7 використовуються для гальванічної розв'язки струмових ланцюгів. Реалізовано чотири канали вимірювання струму ізоляції. Вихідна напруга пропорційна струму, що подається від шунта, що міститься в лінійному ланцюзі, через гвинтові роз'єми хр1-хр4, з амплітудою до 200 мВ. Вимірювання струму здійснюється від шунта з напругою нижче фазного. При виборі значення шунта досягається масштабування вимірюваної витрати. Для живлення підсилювачів DA4-DA7 використовується напруга + 10...+ 30 4 перетворювача постійного струму з гальванічною розв'язкою DCP010505 використовується для живлення вхідного ланцюга ізольованого підсилювача.

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Блок гальванічної розв'язки живиться від незалежного регульованого джерела живлення (БП) +10 В і використовує нерегульований джерело живлення.

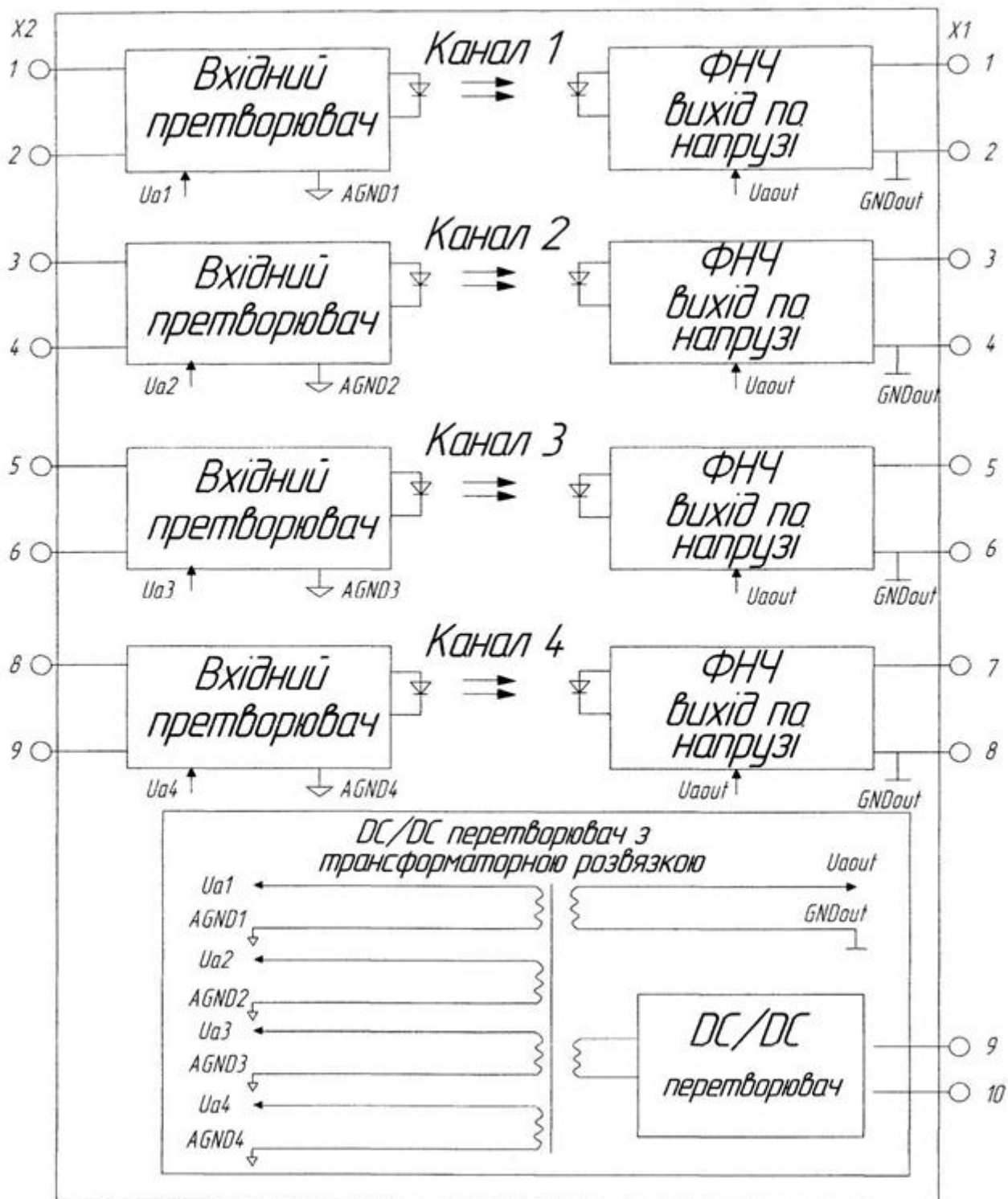


Рисунок 2.3 - Функціональна схема перетворювача

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Ізолюючі підсилювачі DA1-DA3 використовуються для гальванічної розв'язки ланцюгів напруги. Реалізовано три канали вимірювання напруги гальванічної розв'язки.

Вхідна ланцюг ізолюваного підсилювача має загальну нейтральну точку (Клема 8 роз'єму xp4). Вхідний фазовий дільник встановлений на резисторах R9 і R10. Блок гальванічного роз'єднання (BGR) використовувався для вимірювання систем струму та напруги в трифазній мережі за допомогою пристрою збору даних NI USB-6009.

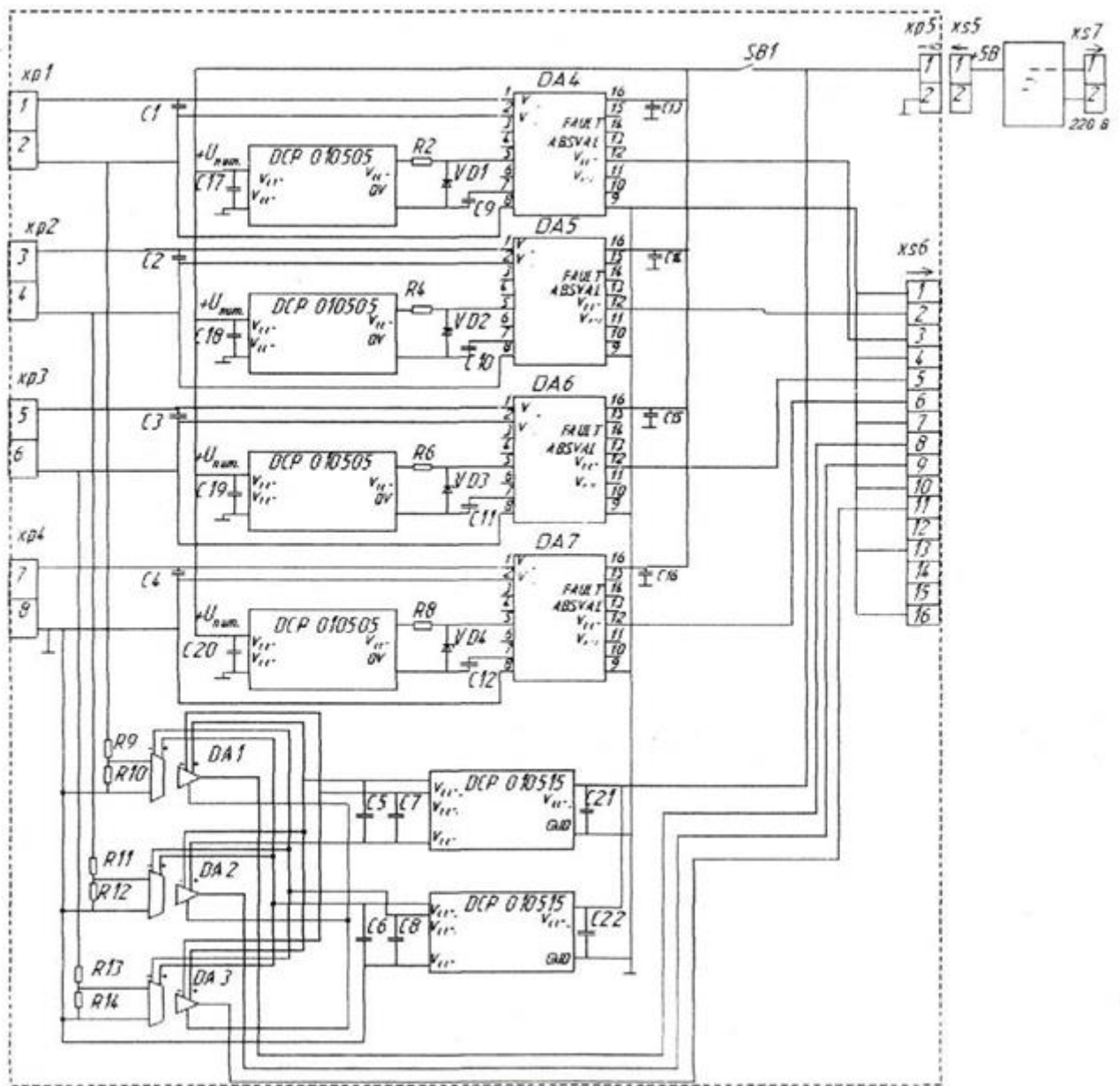


Рисунок 2.4 – Схема електрична принципова блок гальванічної розв'язки

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Блок гальванічної розв'язки має невеликі розміри, живиться від зовнішнього джерела постійної напруги + 5 В і може витримувати амплітуду вхідної фазної напруги 0,4 кВ, що є необхідною умовою для визначення РКЕ.

Система реалізує визначення наступних показників якості електричної енергії: R11, R12, R13 і R14 перетворювачі постійного струму з ізоляцією по струму постійного струму dcr0105015 використовується для живлення схем введення-виведення ізольованих підсилювачів. Перемикач SB1 дозволяє виключити схему вимірювання струму, в цьому випадку схема може харчуватися від USB-порту комп'ютера.

Плата блоку гальванічної розв'язки розташована в корпусі з діелектричного матеріалу і підключена через роз'єм XS6 до роз'єму аналогового входу пристрою збору даних NI USB-6009.

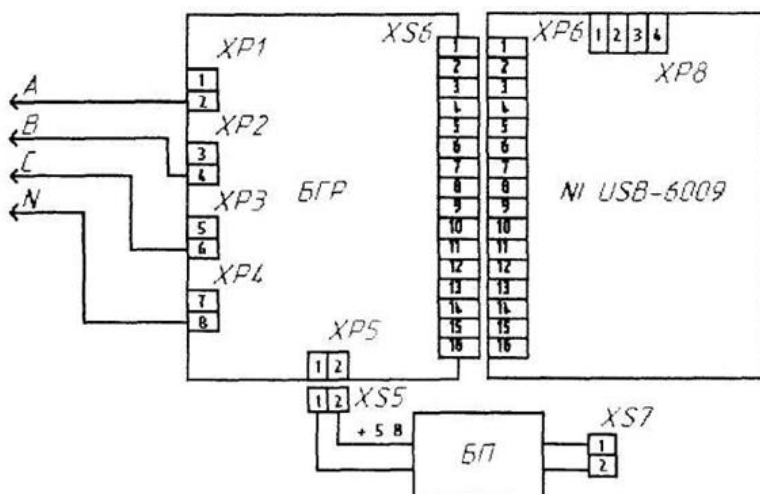


Рисунок 2.5 - Схема з'єднання БП і пристрої NIUSB-6009

Основні технічні характеристики вузлів гальванічної розв'язки представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Основні технічні характеристики блоків гальванічної розв'язки

Кількість каналу	4
Діапазон змін вхідного сигналу, мВ	-200...+200
Діапазон змін вихідного сигналу, В	0.....+10
Вхідний опір не менше, кОм	100
Час встановлення вихідних сигналів, протягом яких він виходить в зону меж основних похибок, які припускається, не більш, мс	0,3
Частотні діапазони, кГц	0.....5кГц
Придушення перешкод загального виду 50/60 Гц не менше, дБ	100
Додаткова похибка в робочому діапазоні температури % / °C	10,15/10
Опір навантаження не менше, кОм	5
Вихідне навантаження не більш, Ом	0,1
Живлення перетворювачів - напруга постійного струма (нестабілізоване), В	+10....+30
Споживані потужності не більш, Вт	0,3
Робоча температур навколишнього повітря, °C	-10....+60
Відносні вологість при температурі +35 % / °C	35....95
Температура зберігань, °C	-20....+70
Вхідні поканалльні і вихідний зв'язки гальванічно ізолювані між собою і живлення перетворювача, напруга гальванічної ізоляції, В	1500

2.4 Загальний вигляд розробленого стенду

Дослідження електричних властивостей асинхронних двигунів проводиться з використанням розробленого стенду. Діагностика електрообладнання з асинхронними двигунами, що працюють зі змінними і не постійно змінюються навантаженнями, зводиться до реєстрації великої кількості електричних параметрів і їх тимчасових характеристик. Робота

пристрою може відбуватися в симетричному і асиметричному режимах при неповній формі напруги живлення, що сильно впливає на пускові характеристики асинхронного двигуна. Вивчення електричних властивостей пов'язано з короточасним зникненням напруги живлення і експериментальним визначенням режиму самозапуску електрообладнання при спотворенні і провалі напруги.

Стенд складається з: асинхронного двигуна; блоку управління та вимірювання; привідного двигуна. Зовнішній вигляд стенду представлений на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд розробленого стенду

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

44

Принцип роботи стенда полягає в наступному.

Електронний стартер симистора VD1-VD3 використовується для запуску двигуна. Управління симистором здійснюється за допомогою оптимізаторів SA1-SA3. Оптичні резистори підключені паралельно для забезпечення одночасного перемикання симистора і блокування перемикання при відключенні ланцюгів управління в будь-якій фазі. Блок гальванічної розв'язки (BGR) являє собою лінійний провід, напруга якого пропорційно струму знімається з шунтів R1, R2, R і разветвитель R5, R6, R7, R8, R9, R10-12В. живлення здійснюється від блоку живлення напругою. Шунт, джерело живлення, блок управління, зібраний в 1 корпусі, блок гальванічної розв'язки і пристрій N1USB-6009 розташовані окремо від блоку управління, а блок управління приводиться в дію напругою +12 В (рис.2.6).

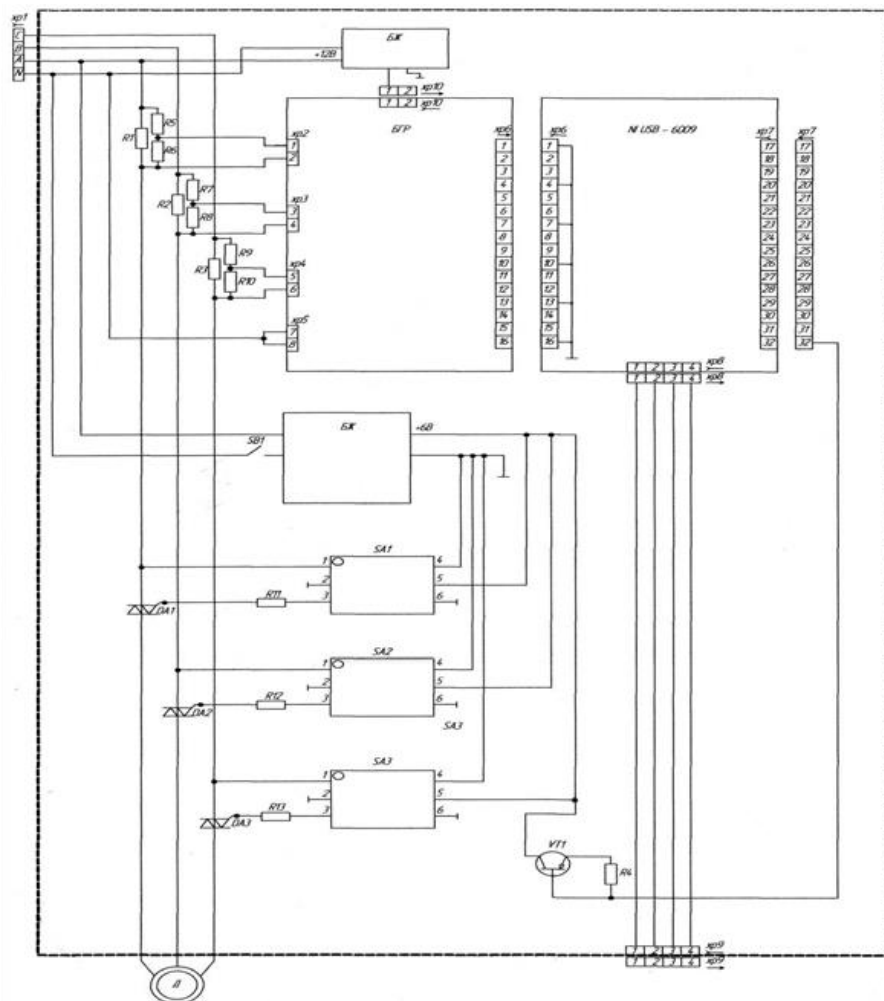


Рисунок 2.6 - Схема електрична принципова розробленого стенду

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

45

Двигун програмується для запуску та зупинки з передньої панелі віртуального пристрою через цифровий вихід пристрою NI USB-6009.

Розроблений стенд дозволяє автоматизувати процес вимірювання, обробки сигналів, перегляду та архівування результатів експериментів.

Пристрій дозволяє визначати фазу асинхронного двигуна, що огинає середньоквадратичного значення струму, активну потужність і миттєве значення напруги.

Висновки до другого розділу

Розроблено стенди для дослідження електричних властивостей, що забезпечують реєстрацію великої кількості електричних параметрів і їх перехідних характеристик в перехідних режимах, змінних і знакозмінних навантаженнях, неідеальних напругах живлення, симетричних і асиметричних режимах роботи АД.

В ході розробки стенду для дослідження електричних властивостей асинхронних двигунів також була розроблена електрична схема блоку управління.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНОК АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

3.1 Вибір основних розмірів

Попередньо визначаємо висоту осі обертання h :

$$P_{2H} = 0,4 \text{ кВт}, 2p_1 = 6$$

З ряду висот осі обертання [2, табл. 6-6] беремо зовнішній діаметр статора D_e , відповідній обраній висоті осі обертання:

$$D_e = 0,168 \text{ м.}$$

З [2, табл. 6-7] візьмемо значення коефіцієнта K_D :

$$K_D = 0,68.$$

Визначимо внутрішній діаметр статора D :

$$D = K_D \cdot D_e = 0,68 \cdot 0,168 = 0,11424 \text{ м.}$$

Поділ на полюси

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} = \frac{3,14 \cdot 0,11424}{4} = 0,128 \text{ м.}$$

Розрахункова потужність

$$P^1 = P_2 \cdot \frac{K_E}{\eta \cdot \cos \phi} = 4 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,962}{0,84 \cdot 0,84} = 5,454 \text{ кВт}$$

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

де $K_E = 0,962$ - відношення ЕРС обмотки статора до номінальної напруги, що визначається [2].

Попередньо виберемо електромагнітне навантаження і магнітну індукцію в повітряному прошарку:

$A=25600$ А/м – лінійне навантаження;

$B_\delta=0,89$ Тл - магнітна індукція в повітряному проміжку.

Так як у нас $h<160$ мм – обмотка одношарова, значить, попереднє значення коефіцієнта обмотки $K_{об} = 0,96$.

Синхронна кутова швидкість

$$\Omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с.}$$

Розрахункова довжина повітряного зазору

$$l_\delta = \frac{P^1}{D^2 \cdot \Omega \cdot K_B \cdot K_{об} \cdot A \cdot B_\delta} = \frac{5454}{0,11424^2 \cdot 157,08 \cdot 1,11 \cdot 0,96 \cdot 25600 \cdot 0,89} = 0,1096$$

де $K_B=1,11$

Щоб перевірити правильність вибору основних параметрів, розраховуємо співвідношення

$$\lambda = \frac{l_\delta}{\tau} = \frac{0,1096}{0,0897} = 1,22$$

Це співвідношення знаходиться в межах, зазначених на рисунку 3.1.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

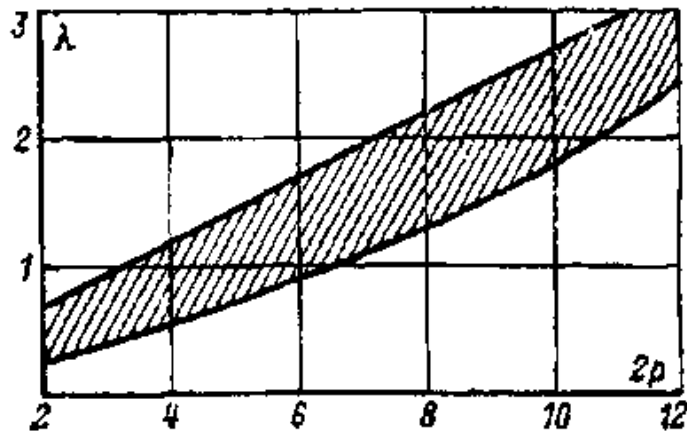


Рисунок 3.1 - Значення λ двигунів серії 4A

Загальну конструктивну довжину l_1 і сталеву довжину l_{cm} сердечника статора визначають з урахуванням наявності радіальних вентиляційних каналів.

Але так як $l_\delta \leq 250 \div 300$ мм, то радіальні канали не влаштовуються, тобто

$$l_1 = l_{cm} = l_\delta = 11 \text{ мм}$$

Враховується довжина сердечника ротора

$$l_2 = l_1 = 110 \text{ мм}$$

Довжина сердечника ротора

$$l_{cm2} = l_2 = 110 \text{ мм}$$

3.2 Розрахунок зубцевої зони та обмотки статора

Так як у нас машина потужністю до 1000 кВт, то будемо

використовувати всипну обмотку.

Підбір граничних значень поділу зуба статора t_1 проводиться за графіком (рис. 3.2).

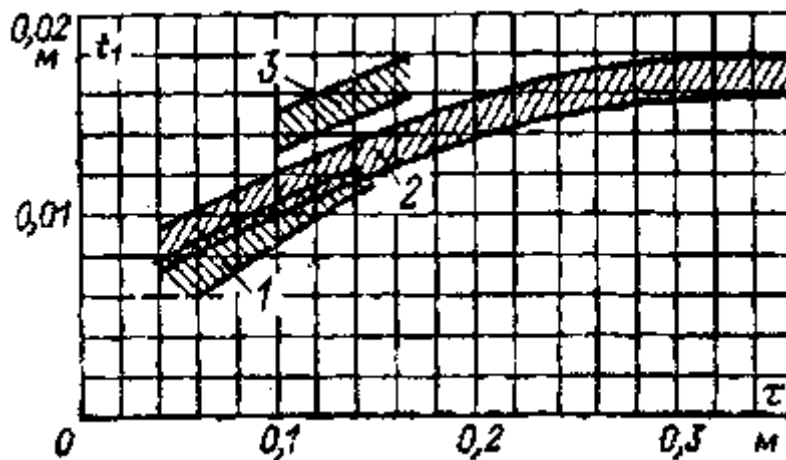


Рисунок 3.2 - Зубцовий поділ статора асинхронних двигунів із всипною обмоткою

$$t_{1min} \approx 0,01 \text{ хв}$$

$$t_{1max} \approx 0,0118 \text{ хв.}$$

Можливі числа пазів статора

$$Z_{1min} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1max}} = \frac{3,14 \cdot 0,11424}{0,0118} = 30,415$$

$$Z_{1max} = \frac{\pi \cdot D}{t_{1min}} = \frac{3,14 \cdot 0,11424}{0,01} = 36,62.$$

Кінцеве значення Z_1 буде вибрано в цих межах з урахуванням того, що воно повинно бути кратним числу фаз, а число прорізів на полюсі і фазі q - цілим числом

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

50

$$q = \frac{Z_1}{2 \cdot p \cdot m} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3.$$

Іншими словами, візьмемо $Z_1 = 36$.

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p \cdot m \cdot q} = \frac{3,14 \cdot 0,11424}{4 \cdot 3 \cdot 3} = 0,00997\text{м}$$

Кількість ефективних провідників в пазі

$$U_n = a \cdot U_n^1 = 1 \cdot 29,7 \approx 30,$$

де U_n^1 - число ефективних провідників в пазу для випадку, коли число відгалужень паралельної обмотки $a = 1$,

$$U_n^1 = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{I_{1н} \cdot Z_1} = \frac{3,14 \cdot 0,11424 \cdot 25600}{8,59 \cdot 36} = 29,7$$

де

$$I_{1н} = \frac{P_2}{m \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \phi} = \frac{4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,84} = 8,59$$

Нехай $A = 1$.

Кількість витків у фазі обмотки

$$W_1 = \frac{U_n \cdot Z_1}{2 \cdot a \cdot m} = \frac{30 \cdot 36}{2 \cdot 1 \cdot 3} = 180.$$

Значення кінцевого лінійного навантаження

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$A = \frac{2 \cdot I_{1H} \cdot W_1 \cdot m}{\pi \cdot D} = \frac{2 \cdot 8,59 \cdot 180 \cdot 3}{3,14 \cdot 0,11424} = 25,85$$

Значення коефіцієнта обмотки знаходять як

$$K_{об} = K_Y \cdot K_P = 1 \cdot 0,96 = 0,96$$

де $K_Y = 1$ - коефіцієнт укорочення,

$$K_P = \frac{0,5}{q \sin \frac{30^\circ}{q}} = \frac{0,5}{3 \sin \frac{30^\circ}{3}} = 0,96 - \text{коефіцієнт розподілу.}$$

Магнітний потік

$$\Phi = \frac{K_E \cdot U_{1H}}{4 \cdot K_B \cdot f_1 \cdot W_1 \cdot K_{об1}} = \frac{0,962 \cdot 220}{4 \cdot 1,11 \cdot 180 \cdot 50 \cdot 0,96} = 0,00552.$$

Уточнене значення магнітної індукції в повітряному зазорі

$$B_\delta = \frac{\Phi}{a_\delta \cdot \tau \cdot l_\delta} = \frac{p \cdot \Phi}{D \cdot l_\delta} = \frac{2 \cdot 0,00552}{0,11424 \cdot 0,11} = 0,879$$

Допустима щільність струму

$$J_1 = \frac{(A \cdot J)}{A} = \frac{180 \cdot 10^9}{25600} = 7,03 \cdot 10^6$$

де $A \cdot J$ - допустиме значення добутку навантаження лінії на щільність струму.

Поперечний переріз ефективного провідника

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$q_{эф} = \frac{I_{1ном}}{a \cdot J_1} = \frac{8,59}{1 \cdot 7,03 \cdot 10^6} = 1,22$$

Так як $h < 132$ мм, то клас теплостійкості утеплювача – В.

Для всипної обмотки використовуємо круглі мідні емальовані дроти марки ПЕТБ (клас В). Діаметр ізолюваного проводу повинен бути не більше 1,4 мм механізованої прокладки.

Візьмемо $n_{эл1} = 1$

Уточнимо щільність струму

$$J_1 = \frac{I_{1н}}{q_{эл1} \cdot n_{эл} \cdot a} = \frac{8,59}{1,22 \cdot 10^{-6} \cdot 1} = 7,04 \cdot 10^6$$

Конфігурація пазів статора.

Марка сталі: 2013. Спосіб ізолювання листів: оксидування.

$K_c=0,97$ - коефіцієнт заповнення сердечника сталлю.

В насипних обмотках паралельні стінки мають зуби, а не пази статора. Так як у нас $h \leq 250$ мм і серія 4А, то будемо використовувати трапецієподібні пази з кутом нахилу $\beta = 45^\circ$ і $h_{ш1} = 0,5$ мм.

Висота ярма статора

$$h_a = \frac{\Phi}{2 \cdot B_a \cdot l_{см1} \cdot K_c} = \frac{0,00552}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 0,0162$$

де $l_{см1} = l_\delta$,

$B_a=1,6$ Тл - величина індукції в ярмі статора,

$B_{z1}=1,9$ Тл - величина індукції на зубах.

Ширина зубців

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{B_{z1} \cdot l_{cm1} \cdot K_c} = \frac{0,879 \cdot 0,00997 \cdot 0,11}{0,97 \cdot 0,11 \cdot 1,9} = 0,0048$$

Розміри паза, в матриці

$$h_n = \frac{D_a - D}{2} - h_a = \frac{0,168 - 0,11424}{2} - 0,0162 = 0,01068$$

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_n)}{Z_1} - b_{z1} = \frac{3,14 \cdot (0,11424 + 2 \cdot 0,01068)}{36} - 0,0048 = 0,007$$

$$b_2 = \frac{\pi \cdot (D + 2h_{u1} - b_{u1}) - Z_1 \cdot b_{z1}}{Z_1 - \pi} = \frac{3,14 \cdot (0,11424 + 2 \cdot 5 \cdot 10^{-4} - 3,5 \cdot 10^{-3}) - 36 \cdot 0,0048}{36 - 3,14} = 0,00542 \text{ м}$$

де $h_{u1} = 0,5$ мм,

$b_{u1} = 3,5$ мм.

$$h_{n.k.} = h_n - \left(h_{u1} + \frac{b_2 - b_{u1}}{2} \right) = 0,01068 - \left(0,0005 + \frac{0,00542 - 0,0035}{2} \right) = 0,00922$$

Розміри паза

$$b_1^I = b_1 - \Delta b_n = 0,007 - 0,0001 = 0,0069$$

$$b_2^I = b_2 - \Delta b_n = 0,00542 - 0,0001 = 0,00532$$

$$h_1^I = h_{n.k.} - \Delta h_n = 0,00922 - 0,0001 = 0,00912$$

де $\Delta b_n = 0,1$ мм,

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$\Delta h_n = 0,1 \text{ мм.}$$

Площа корпусної ізоляції, м^2

$$S_{i3} = b_{i3} \cdot (2 \cdot h_n + b_1 + b_2) = 0,00025 \cdot (2 \cdot 0,00922 + 0,007 + 0,00542) \\ = 7,72 \cdot 10^{-6}$$

де $b_{i3} = 0,25 \text{ мм}$ - одностороння товщина ізоляції в пазі.

Площа прокладок в пазу $S_{PP} = 0 \text{ м}^2$.

Площа поперечного перерізу пазу, що залишилася для розміщення провідників обмотки, м^2

$$S_n^l = \frac{b_1^l + b_2^l}{2} \cdot h_1^l - S_{uz} - S_{np} = \frac{0,0069 + 0,00532}{2} \cdot 0,00912 - 0,00000772 - 0 \\ = 4,8 \cdot 10^{-5}$$

Правильність розміщення обмотки в пазах перевіримо по коефіцієнту заповнення пазу, вільного від ізоляції провідників

$$K_3 = \frac{d_{uz}^2 \cdot U_n \cdot n_{эл1}}{S_n^l} = \frac{1,11^2 \cdot 30 \cdot 1}{48} = 0,77$$

Отримане значення знаходиться в межах допустимого діапазону значень $K_3 = 0,7 \div 0,72$ для механізованого мощення.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

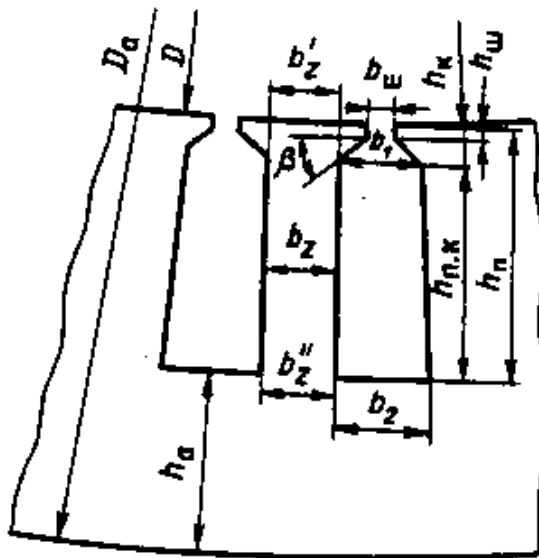


Рисунок 3.3 – Розрахунок пазів статорів

3.3 Вибір повітряного зазору

Відповідно до рисунка 3.4 вибираємо повітряний зазор, що відповідає $\delta = 0,5$ мм.

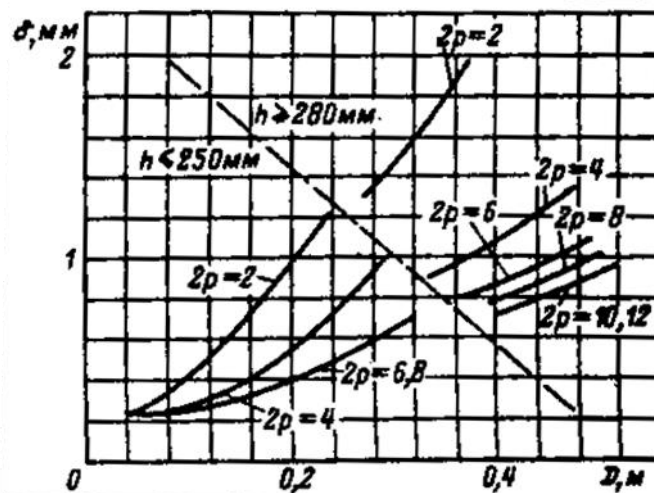


Рисунок 3.4 - Вибір повітряного зазору асинхронних двигунів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.4 Розрахунок ротора

Короткозамкнений ротор.

Кількість пазів ротора Z_2 вибирається в залежності від Z_1 і наявності скоса пазів згідно [2, табл. 9-11].

Так як у нас $h \leq 160$ мм, то потрібно скошувати пази, тобто $Z_2=30$.

Взявши $m_2 = Z_2 = 30$ і $W_1=180$, знаходимо понижуючий коефіцієнт струмів

$$v_i = \frac{m_1 \cdot W_1 \cdot K_{об1}}{Z_2 \cdot K_{ск} \cdot K_{об2}} = \frac{3 \cdot 180 \cdot 0,96}{30 \cdot \sin \frac{\pi \cdot 2}{30} \cdot 0,84} = 98,93$$

Фазний струм, А

$$I_2 = I_{кл} = K_i \cdot I_1 \cdot v_i = 0,872 \cdot 8,59 \cdot 98,93 = 741,03$$

де

$$K_i = 0,2 + 0,8 \cdot \cos \phi = 0,2 + 0,8 \cdot 0,84 = 0,872$$

$$I_c = 2 \cdot I_2 \cdot \sin \frac{\pi \cdot p}{Z_2} = 2 \cdot 741,03 \cdot \sin \frac{3,14 \cdot 2}{30} = 308,14 \text{ А.}$$

Поперечний переріз стержня обмотки ротора, мм²

$$q_c = \frac{I_c}{J_c} = \frac{308,14}{5 \cdot 10^6} = 61,63$$

де $J_c = 5 \cdot 10^6$ А/м².

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тобто $h \leq 250$ мм, отже, ми можемо використовувати трапецієподібні пази і литу обмотку ротора з розмірами шліців

Розміри грушоподібної канавки розраховують, виходячи з перетину стержня і сталості ширини зубів ротора. Ширина зубців, мм

$$b_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_2 \cdot l_{\delta}}{B_{z2} \cdot l_{cm2} \cdot K_c} = \frac{0,879 \cdot 0,01186 \cdot 0,11}{1,8 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 5,97$$

де $B_{z2} = 1,8$ Тл по [2, таблиця 6-10],

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Z_2} = \frac{3,14 \cdot 0,11324}{30} = 0,01186 \text{ м} - \text{зубчастий поділ ротора,}$$

$D_2 = D - 2\delta = 0,11424 - 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,11324$ м – зовнішній діаметр ротора.

Розміри пазів, мм

$$b_1 = \frac{\pi \cdot (D_2 - 2h_{ui}) - Z_2 b_{z2}}{\pi + Z_2} = \frac{3,14 \cdot (113,24 - 2 \cdot 0,5) - 30 \cdot 5,97}{3,14 + 30} = 5,24$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{b_1^2 \cdot \left(\frac{Z_2}{\pi} + \frac{\pi}{2}\right) - q_c \cdot 4}{\frac{Z_2}{\pi} - \frac{\pi}{2}}} = \sqrt{\frac{5,24^2 \cdot \left(\frac{30}{3,14} + \frac{3,14}{2}\right) - 4 \cdot 61,63}{\frac{30}{3,14} - \frac{3,14}{2}}} = 2,72$$

$$h_1 = (b_1 - b_2) \cdot \frac{Z_2}{2\pi} = (5,24 - 2,72) \cdot \frac{30}{2 \cdot 3,14} = 12,03$$

Перевіримо при $h \leq 132$ мм, $b_2 \geq (1,5 - 2,0)$ мм. Вірно.

Округлимо розрахункові розміри паза до десятих часток міліметра і

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Уточнимо площу

$$q_c = \frac{\pi}{8} \cdot (b_1^2 + b_2^2) + \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot h_1 = \frac{3,14}{8} \cdot (5,24^2 + 2,72^2) + \frac{1}{2} \cdot (5,24 + 2,72) \cdot 12,03 = 61,57 \text{ мм}^2$$

Визначимо ширину зуба в двох поперечних перерізах, мм

$$b_{z2}^I = \pi \cdot \frac{D_2 - 2(h_{u1} + h_{u2}) \cdot b_1}{Z_2} - b_1 = 3,14 \cdot \frac{113,2 - 2 \cdot (0,5 + 0,3) \cdot 5,24}{30} - 5,24 = 5,74$$

$$b_{z2}^{II} = \pi \cdot \frac{D_2 - 2h_{n2} + b_2}{Z_2} - b_2 = 3,14 \cdot \frac{113,2 - 2 \cdot 16,81 + 2,72}{30} - 2,72 = 5,9$$

де

$$h_{n2} = h_{u1} + h_{u2} + \frac{b_1}{2} + h_1 + \frac{b_2}{2} = 0,3 + 0,5 + \frac{5,24}{2} + \frac{2,72}{2} + 12,03 = 16,81$$

$$b_{z2}^{III} = \frac{b_{z2}^I + b_{z2}^{II}}{2} = \frac{5,74 + 5,9}{2} = 5,82$$

Розрахункова висота зуба:

$$h_{z2} = h_{n2} - 0,1 \cdot b_2 = 16,81 - 0,1 \cdot 2,72 = 16,538 \text{ мм.}$$

Конструкція сердечника ротора

Так як у нас $D_2 = 168 < 990$ мм, то сердечник ротора безпосередньо насаджується на вал без проміжної втулки. Застосуємо гарячу посадку сердечника на гладкий вал без шпонки.

Внутрішній діаметр сердечника ротора, м

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_B = K_B \cdot D_a = 0,23 \cdot 0,168 = 0,03864$$

де $K_B=0,23$.

Щільність струму серцевини, А/м

$$j_c = \frac{I_c}{q_c} = \frac{308,14}{61,57 \cdot 10^{-6}} = 5,005 \cdot 10^6$$

Площа поперечного перерізу кільця, мм²

$$q_{кл} = \frac{I_{кл}}{J_{кл}} = \frac{741,03}{4,25 \cdot 10^6} = 174,36$$

$$J_{кл} = 0,85 \cdot 5 \cdot 10^6 = 4,25 \cdot 10^6$$

Розміри короткозамкнених кілець, мм

$$h_{кл} = 1,25 \cdot h_{п2} = 1,25 \cdot 16,81 = 21,013$$

$$b_{кл} = \frac{q_{кл}}{h_{кл}} = \frac{174,36}{21,013} = 8,33$$

$$D_{к.ср} = D_2 - h_{кл} = 113,24 - 21,013 = 92,23$$

3.5 Розрахунок магнітопроводу

Розрахунок магнітного кола проводять з метою визначення струму, що намагнічує, двигуна.

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок магнітного кола асинхронних двигунів роблять для режиму холостого ходу при номінальній напрузі.

Магнітна напруга повітряного зазору:

$$F_{\delta} = \frac{2}{\mu_0} \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} = \frac{2}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} \cdot 0,879 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,32 = 923,32$$

$$k_{\delta 1} = \frac{t_{z1}}{t_{z1} - \gamma_1 \delta} = \frac{0,00997}{0,00997 - 4,08 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 1,257$$

$$\gamma_1 = \frac{(b_{u1}/\delta)^2}{5 + b_{u1}/\delta} = \frac{(3,5 \cdot 10^{-3}/0,5 \cdot 10^{-3})^2}{5 + 3,5 \cdot 10^{-3}/0,5 \cdot 10^{-3}} = 4,08$$

$$k_{\delta 2} = \frac{t_{z2}}{t_{z2} - \gamma_2 \cdot \delta} = \frac{0,01186}{0,01186 - 1,125 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 1,05$$

$$\gamma_2 = \frac{(b_{m2}/\delta)^2}{5 + b_{m2}/\delta} = \frac{(1,5 \cdot 10^{-3}/0,5 \cdot 10^{-3})^2}{5 + 1,5 \cdot 10^{-3}/0,5 \cdot 10^{-3}} = 1,125$$

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = 1,257 \cdot 1,05 = 1,32$$

Магнітна напруга зубчастої зони статора:

$$F_{z1} = H_{z1} \cdot 2h_{z1} = 2 \cdot 0,01068 \cdot 2070 = 44,22$$

де $h_{z1} = h_{n1} = 0,01068$ м.

Розрахунок індукції в зубцях

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$B'_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{b_{z1} \cdot l_{cm1} \cdot K_c} = \frac{0,879 \cdot 0,00997 \cdot 0,11}{0,0048 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 1,9$$

$$k_{\text{пк}} = \frac{b_{\text{пк}} \cdot l_{\delta}}{b_{zx} \cdot l_{\text{ст}} \cdot k_{c1}} = \frac{6,21 \cdot 110}{4,8 \cdot 110 \cdot 0,97} = 1,334$$

$$b_{\text{пк}} = \frac{b_1 + b_2}{2} = \frac{7 + 5,42}{2} = 6,21$$

$$B_{z1} = B'_{z1} - \mu_0 \cdot H_{z1} \cdot k_{\text{пк}} = 1,9 - 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 2070 \cdot 1,334 = 1,896 \approx 1,9$$

Магнітна напруга зони зуба ротора:

$$F_{z2} = H_{z2} \cdot 2h_{z2} = 2 \cdot 1570 \cdot 16,54 \cdot 10^{-3} = 51,94$$

$$h_{z2} = h_{\text{п2}} - 0,1 \cdot b_2 = 16,81 - 0,1 \cdot 2,72 = 16,54 \text{ мм.}$$

Індукція в хвилі:

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z2} \cdot l_{\delta}}{b_{z2} \cdot l_{cm2} \cdot K_c} = \frac{0,879 \cdot 0,01186 \cdot 0,11}{5,97 \cdot 10^{-3} \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 1,8$$

Коефіцієнт насичення зубчастої зони

$$K_z = 1 + \frac{F_{z1} + F_{z2}}{F_{\delta}} = 1 + \frac{44,22 + 51,94}{923,32} = 1,104$$

Магнітна напруга ярма статора

$$F_A = L_A \cdot H_A = 0,119 \cdot 750 = 89,25$$

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$L_A = \pi \frac{D_a - h_a}{2p} = 3,14 \frac{0,168 - 0,0162}{4} = 0,119$$

де

$$h_a = \frac{D_a - D}{2} - h_{n1} = \frac{0,168 - 0,11424}{2} - 0,01068 = 0,0162$$

$$B_a = \frac{\Phi}{2 \cdot h_a^l \cdot l_{cm1} \cdot K_{c1}} = \frac{0,00552}{2 \cdot 0,0162 \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 1,6$$

Магнітна напруга ярма якоря

$$F_j = L_j \cdot H_j = 0,04989 \cdot 185 = 9,23$$

$$L_j = \frac{\pi \cdot (D_j + h_j)}{2p} = \frac{3,14(38,64 + 24,88) \cdot 10^{-3}}{4} = 0,04989$$

де

$$B_j = \frac{\Phi}{2 \cdot h_j^l \cdot l_{cm2} \cdot K_c} = \frac{0,00552}{2 \cdot 24,88 \cdot 10^{-3} \cdot 0,11 \cdot 0,97} = 1,04$$

$$h_j' = \frac{2 + p}{3,2p} \left(\frac{D_2}{2} - h_{П2} \right) - \frac{2}{3} d_{K2} m_{K2} = \frac{2 + 2}{3,2 \cdot 2} \left(\frac{113,24}{2} - 16,81 \right) - 0 = 24,88$$

Магнітна напруга на парі полюсів

$$F_{\psi} = F_{\sigma} + F_{z1} + F_{z2} + F_j + F_a = 923,32 + 44,22 + 51,94 + 9,23 + 89,25 = 1117,96$$

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Коефіцієнт насичення магнітопроводу

$$k_{\mu} = \frac{F_u}{F_{\delta}} = \frac{1117,96}{923,32} = 1,211$$

Намагнічуючий струм

$$I_{\mu} = \frac{\pi \cdot p \cdot \frac{F_u}{2}}{m_1 \cdot \sqrt{2} \cdot W_1 \cdot K_{об1}} = \frac{p \cdot F_u}{0,9 \cdot W_1 \cdot K_{об1} \cdot m_1} = \frac{2 \cdot 1117,96}{0,9 \cdot 180 \cdot 0,96 \cdot 3} = 4,79$$

Відносне значення

$$I_{\mu}^* = \frac{I_{\mu}}{I_{1н}} = \frac{4,79}{8,59} = 0,558.$$

Висновки до третього розділу

Вибираючи базову модель для проектування нового автомобіля, ми зупинилися на двигуни серії 4а. завдяки використанню електротехнічної сталі з поліпшеними магнітними властивостями, реалізації резервів для нагріву і поліпшеного охолодження, переходу на більш високий клас ізоляції, потужність двигунів цієї серії при заданій висоті осі обертання на 2-3 ступені вище за шкалою потужності в порівнянні з серією А2 двигуни. Це дозволило знизити масу двигуна в середньому на 15-18% і заощадити 20-25% на обсязі обмотки з міді та електротехнічної сталі при певному енергетичному показнику.

					<i>MPMA 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Ми розглядаємо характеристики асинхронних двигунів в сталому режимі роботи, основними з яких є механічні $n=f(M)$, електромеханічні $\Pi=f(M)$, енергетичні $P_1=f(P_2)$, залежність осей від механічної потужності $n=f(P_2)$ і $\cos \varphi=f(m)$ коефіцієнта корисної дії, а також режиму без підігріву, який включає в себе пускові характеристики $M=f(t); n=f(t); I=f(t)$.

Розглянуто методи вимірювання характеристик асинхронних двигунів та стенди для їх дослідження.

Розроблено стенди для дослідження електричних властивостей, що забезпечують реєстрацію великої кількості електричних параметрів і їх перехідних характеристик в перехідних режимах, змінних і знакозмінних навантаженнях, неідеальних напругах живлення, симетричних і асиметричних режимах роботи АД.

В ході розробки стенду для дослідження електричних властивостей асинхронних двигунів також була розроблена електрична схема блоку управління.

Вибираючи базову модель для проектування нового автомобіля, ми зупинилися на двигуни серії 4а. завдяки використанню електротехнічної сталі з поліпшеними магнітними властивостями, реалізації резервів для нагріву і поліпшеного охолодження, переходу на більш високий клас ізоляції, потужність двигунів цієї серії при заданій висоті осі обертання на 2-3 ступені вище за шкалою потужності в порівнянні з серією А2 двигуни. Це дозволило знизити масу двигуна в середньому на 15-18% і заощадити 20-25% на обсязі обмотки з міді та електротехнічної сталі при певному енергетичному показнику.

					MPMA 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Шевченко О.В., Петренко В.І. Методи визначення технічних характеристик асинхронних двигунів у побутових приладах // "Електротехнічні системи та комп'ютерні технології." - 2015. - № 108. - С. 76-82.
2. Горошко В.С., Іваненко С.П. Розробка електричних схем для стенду з дослідження асинхронних двигунів // "Журнал наукових досліджень." - 2016. - № 115. - С. 92-99.
3. Коваленко О.Я., Тарасов Т.П. Використання сучасних методів вимірювань для аналізу електричних характеристик двигунів // "Технічні науки та технології." - 2017. - № 120. - С. 110-117.
4. Сидоренко С.П., Литвиненко Л.І. Системи автоматизованого збору даних для стенду дослідження електричних характеристик // "Інформаційні технології в автоматизованих системах." - 2018. - № 122. - С. 94-101.
5. Ігнатенко І.В., Григоренко Г.О. Методи моделювання роботи асинхронних двигунів у побутових приладах // "Технічна література." - 2019. - № 125. - С. 120-128.
6. Білоусов Б.В., Мироненко Н.М. Оптимізація електричних схем для стенду дослідження електричних характеристик // "Інженерний вісник." - 2020. - № 130. - С. 76-82.
7. Тарасенко Т.П., Гончаренко І.Г. Вплив конструктивних особливостей на точність вимірювань стенду для асинхронних двигунів // "Журнал електротехнічних систем." - 2021. - № 138. - С. 88-95.
8. Петренко В.П., Козлов П.О. Аналіз інноваційних матеріалів для підвищення надійності стенду для дослідження // "Технічні науки та технології." - 2022. - № 142. - С. 102-109.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

9. Іванов В.С., Шевченко А.П. Структурна оптимізація стенду для дослідження асинхронних двигунів побутових приладів // "Інженерний вісник." - 2023. - № 147. - С. 94-101.

10. Мельник С.М., Карпенко В.І. Ефективність використання регулювальних систем в електронних стендах // "Технічна література." - 2020. - № 150. - С. 110-117.

11. Кучеренко І.В., Литвиненко О.Л. Модернізація стенду для вимірювання обертового моменту асинхронних двигунів // "Журнал наукових досліджень." - 2015. - № 110. - С. 84-91.

12. Білецький С.Б., Горбунов К.Г. Інтеграція віртуальної реальності в стенд для дослідження електричних характеристик // "Технічні науки та технології." - 2016. - № 115. - С. 92-99.

13. Савченко В.С., Ігнатенко Т.І. Застосування систем штучного інтелекту для автоматизації стенду для дослідження // "Інформаційні технології в автоматизованих системах." - 2017. - № 120. - С. 110-117.

14. Шатохін А.М., Петренко С.В. Аналіз та вдосконалення алгоритмів керування на стенді для асинхронних двигунів // "Журнал електротехнічних систем." - 2018. - № 122. - С. 94-101.

15. Григоренко В.С., Коваленко О.Л. Методи зменшення впливу шуму на електричні вимірювання стенду // "Технічна література." - 2019. - № 125. - С. 120-128.

16. Іваненко П.С., Білоусов В.О. Вплив конструктивних параметрів на точність вимірювань стенду для асинхронних двигунів // "Інженерний вісник." - 2020. - № 130. - С. 76-82.

17. Тарасов В.П., Сидоренко І.С. Розробка програмного забезпечення для збору і аналізу даних на стенді // "Журнал електротехнічних систем." - 2021. - № 138. - С. 88-95.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

18. Петренко Д.С., Ігнатенко А.В. Використання методів математичного моделювання для оптимізації стенду // "Технічні науки та технології." - 2022. - № 142. - С. 102-109.

19. Білоусов Л.Д., Шевченко В.С. Системи автоматичного регулювання параметрів стенду для ефективних досліджень // "Інженерний вісник." - 2023. - № 147. - С. 94-101.

					<i>МРМА 23.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					МРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		