

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-23-1


Підпис

Монастирський Т.А.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

проф. д.т.н., Скиба М.Є.
Ініціали, прізвище

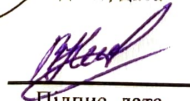
Нормоконтролер


Підпис, дата

доц. к.т.н. Тимощук О.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

доц. к.т.н., Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

17 12 2024 р.

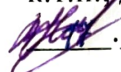
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доцент Неймак В.С.

 . 12 . 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Монастирський Тарас Андрійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів

керівник роботи д.т.н., проф. Скиба М.Є.

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

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи Технологічні та технічні рішення застосування стендів для дослідження електродвигунів машин

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

Вступ. Огляд та аналіз типів електродвигунів та пристроїв для визначення їх характеристик. Розробка конструкції стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів. Розрахунок параметрів лабораторного стенду для визначення характеристик електродвигунів, що підтверджують його працездатність. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Огляд електродвигунів побутових машин та приладів. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Огляд пристроїв та стендів для дослідження електродвигунів машин. Документ оглядовий (A1). Аркуш 3. Стенд для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів. Схема структурна (A2). Аркуш 4. Стенд для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів. Схема кінематична (A2). Аркуш 5. Стенд для дослідження електродвигунів. Схема електрична принципова (A1). Аркуш 6. Моделювання стенда для дослідження електродвигунів, побутових машин та

приладів. Документ ілюстраційний. Аркуш 7. Складальне креслення для дослідження електродвигунів. (А1). Аркуш 8. Деталювання стенда дослідження електродвигунів. (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	Примітка
1. Огляд та аналіз типів електродвигунів та пристроїв для визначення їх характеристик.	до 15.10.22р.	
2. Розробка конструкції стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів.	до 30.10.22р.	
3. Розробка конструкції стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів.	до 5.11.22р.	
4. Розрахунок параметрів лабораторного стенду для визначення характеристик електродвигунів, що підтверджують його працездатність	до 20.11.22р.	
5. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент


Підпис

Т.А.Монастирський
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

М.Є. Скиба
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові Монастирський Тарас Андрійович
2. Тема магістерської роботи Розробка стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____
4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 74
5. Ця робота присвячена розробці універсального стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів

Запропоновано конструкцію стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів, який може бути використаний для різних типів двигунів. Стенд містить у собі контактні та безконтактні засоби вимірювання механічних параметрів

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам.

В першому розділі було подано інформацію про типи електродвигунів, які переважно використовуються в електричному та електромеханічному обладнанні. Проаналізовано прилади для визначення механічних та енергетичних властивостей електродвигунів. Подано огляд завдань, необхідних для розроблення стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів.

У другому розділі було розроблено конструкцію експериментального стенда для визначення характеристик електродвигунів побутових машин та приладів. Зокрема, було розроблено структурну, кінематичну та електричну схеми випробувального стенда. Вибір конструктивних елементів стенда для дослідження характеристик електродвигунів. Розраховано смугу пропускання ComPort для безконтактного датчика «Optopara». За допомогою програмного пакета JM CAD створено комп'ютерну модель стенда для дослідження електродвигунів. Показано методику дослідження електродвигунів на даному стенді та проведено обробку результатів вимірювань за допомогою пакета прикладних програм.

У третьому розділі розраховано параметри експериментального стенда та перевірено його працездатність. Зокрема, було розраховано стрічкове гальмо та гвинтову передачу гальмівної системи. Також було проведено перевірені розрахунки опорної рами експериментального стенда для забезпечення стійкості та конструкції нарізів болтів для кріплення гальмівної стрічки до пружинного динамометра.

Підпис студента _____

« 17 » 12 2024 р.


Р І Ш Е Н Н Я Е К

Протокол 5 від « 27 » 12 2024 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно/А

Рекомендації ЕК _____

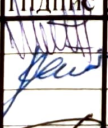



Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

« 27 » 12 2024 р.

ЗМІСТ

	С.
Вступ	6
1 Огляд та аналіз типів електродвигунів та пристроїв для визначення їх характеристик	8
1.1 Класифікація силових електродвигунів	8
1.2 Інформаційний огляд пристроїв для визначення механічної та робочих характеристик електродвигунів	17
1.3 Постановка задачі для розробки лабораторного стенду для визначення характеристик електродвигунів	24
2 Розробка конструкції стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів	26
2.1 Розробка структурної схеми стенду для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів	26
2.2 Підбір конструктивних елементів стенду для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів	29
2.3 Розробка кінематичної схеми стенду для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів	39
2.4 Розробка електричної схеми для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів	40
2.5 Розрахунок пропускної здатності ComPort для безконтактного датчика «Оптопара»	45
2.6 Моделювання лабораторного стенду для вимірювання характеристик електродвигуна програмним комплексом JMCAD	47

МРМА 24.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Монастирський		
Перевір.		Скиба		
Н.контр.		ТЦМОШ		
Затвер.		Поліщук		
Розробка стенда для дослідження електродвигунів побутових машин та приладів			Літера	Аркуш
			у	4
			ХНУ, ЕТм-23	

2.7 Методики проведення вимірювань та обробка результатів на лабораторному стенді для визначення характеристик електродвигунів	50
3 Розрахунок параметрів лабораторного стенду для визначення характеристик електродвигунів, що підтверджують його працездатність	61
3.1 Розрахунок стрічкового гальма	61
3.2 Розрахунок опорної рами стенда на стійкість	66
3.3 Розрахунок гвинтової передачі гальмівного пристрою	68
3.4 Розрахунок на зріз болтів кріплення гальмівної стрічки до пружинних динамометрів	69
Висновки	71
Перелік літературних посилань	72
Додатки	

Вступ

Електродвигуни - ключові елементи електроприводів, що перетворюють електричну енергію на механічну для приведення в рух рухомих частин різних машин і механізмів, транспортного устаткування, вантажопідіймальних механізмів, побутових приладів і апаратури.

На сьогоднішній час двигуни змінного струму споживають найбільше електроенергії. Згідно з останніми дослідженнями, вони споживають понад 80 % усієї вироблюваної електроенергії. Однак у процесі експлуатації можуть виникати пошкодження компонентів двигуна, що призводить до його передчасного виходу з ладу. Численні дослідження характерних пошкоджень двигунів змінних струмів дали змогу отримати таку статистику:

- статор - 38%;
- ротор - 10%;
- підшипники - 40%;
- інше - 12%.

У багатьох галузях промисловості раптовий вихід з ладу електродвигуна може призвести до негативних наслідків. Крім того, експлуатація електродвигунів у технічно невідповідних умовах призводить до прямих фінансових втрат, пов'язаних із непередбачуваними відмовами устаткування та подальшим перериванням технічних процесів, а також до значного (до 5-7%) збільшення непрямой непродуктивної витрати енергії за рахунок збільшення споживання електроенергії (за тієї самої корисної потужності). Тому необхідно діагностувати стан двигуна в процесі експлуатації та вимірювати його механічні й експлуатаційні характеристики. Крім того, ці дослідження необхідно проводити під час розроблення нових моделей електродвигунів з поліпшеними енергетичними характеристиками, які є енергоефективними, екологічними та ергономічно привабливими.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

Саме тому на українському ринку вимірювального обладнання щороку з'являються нові види стендів, обладнання та лабораторних установок для вивчення роботи електродвигунів. До них відносяться стенди для вимірювання крутного моменту, що виникає на валу двигуна, стенди з безконтактними датчиками для вимірювання швидкості обертання валу двигуна, стенди з безконтактними датчиками для вимірювання швидкості обертання валу двигуна, стенди з безконтактними датчиками для вимірювання.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТИПІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ХАРАКТЕРИСТИК

1.1 Класифікація силових електродвигунів

Залежно від конструктивних особливостей, способів намотування, під'єднання до електричної мережі та інших показників, двигуни можна поділити на колекторні й безколекторні та далі поділити на кілька класів (рис. 1.1). Класифікація двигунів наведена в ілюстративній частині магістерської дисертації [МРМА 24.00.00.000 ДО1].

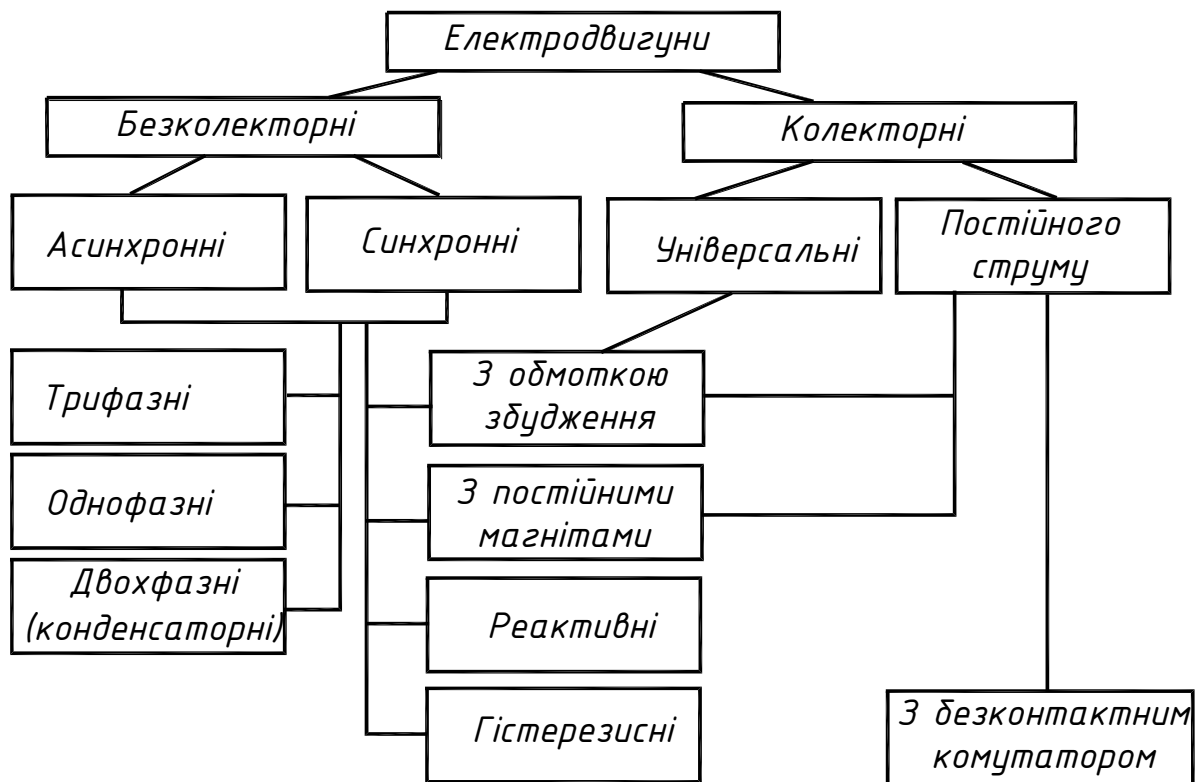


Рисунок 1.1 – Класифікація електродвигунів

Кожен електродвигун складається з двох основних компонентів: нерухомого статора і рухомого ротора. Рух ротора забезпечується завдяки взаємодії двох магнітних полів: статора і ротора. Магнітне поле статора здебільшого

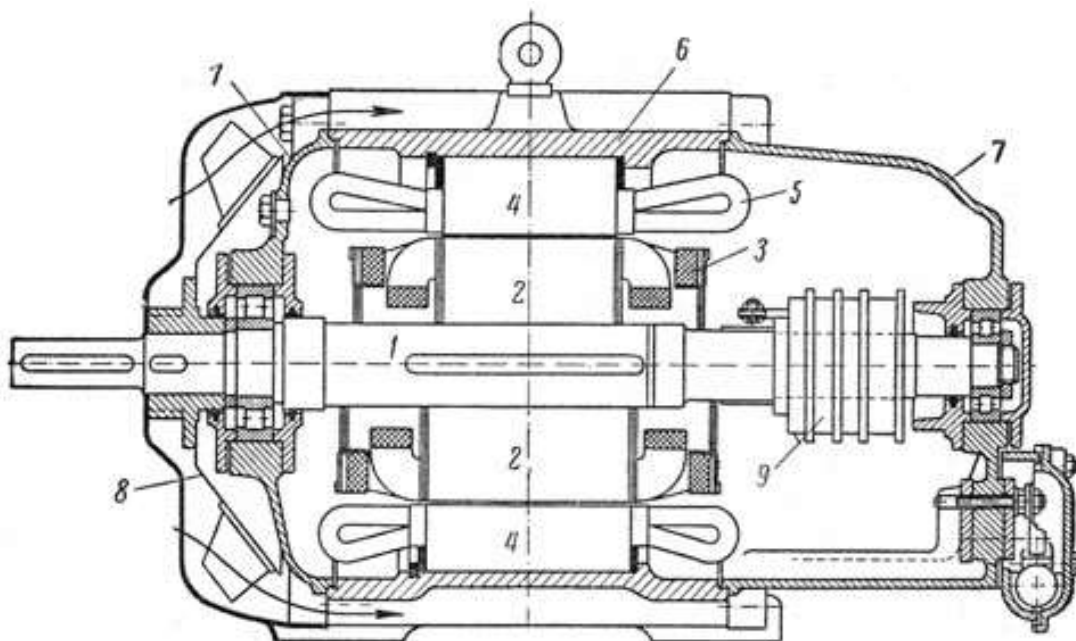
пруга. Тому в побутових машинах і приладах використовуються однофазні асинхронні електродвигуни. Магнітне поле статора таких машин, що обертається, складно зробити через конструктивні хитрощі, що знижують ККД.

У синхронних двигунах магнітне поле статора також обертається. Однак, оскільки магнітне поле ротора вже присутнє (ротор постійно намагнічений), зчеплення магнітних полів статора і ротора змушує ротор обертатися зі швидкістю магнітного поля статора. Цей тип двигуна має постійну швидкість обертання і тому підходить для використання в програмному обладнанні.

1.1.1 Асинхронні електродвигуни

Асинхронні двигуни широко використовуються в усіх галузях народного господарства. Причинами цього є простота конструкції, висока експлуатаційна надійність і задовільні експлуатаційні характеристики [1].

Більшість асинхронних двигунів (рис. 1.2) використовують для приводу механічних пристроїв із постійною швидкістю.



1 - вал двигуна, 2 - ротор, 3 - обмотка ротора, 4 - статор, 5 - обмотка статора, 6 - корпус, 7 - підшипникові кришки, 8 - вентилятор, 9 - контактні кільця

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

10

Рисунок 1.2 – Двигун однофазний асинхронний

Наприклад, понад 80 % загальнопромислових асинхронних двигунів використовують для приводу обладнання, яке не потребує регулювання швидкості обертання приводного двигуна, як-от вентилятори, насоси, конвеєри та обробні центри.

Асинхронні двигуни складаються з двох основних частин, розділених повітряним зазором: нерухомого статора й обертового ротора. Кожна з цих частин має сердечник і обмотку. У цьому разі обмотка статора під'єднується до електромережі та вважається первинною, а обмотка ротора - вторинною, оскільки енергія надходить від обмотки статора завдяки магнітному зв'язку між цими обмотками [2].

За конструкцією асинхронні двигуни поділяються на однофазні та трифазні, з короткозамкненим ротором і двигуни з фазним ротором.

Однофазні асинхронні електродвигуни використовують у побутовій техніці: холодильниках, пральних машинах, сушильних машинах, прасках, кухонних приладах, подрібнювачах сміття, кондиціонерах і вентиляторах.

Статор - це нерухома частина електродвигуна. Кожен лист електротехнічної сталі збирається в пакет і зварюється в окремих точках по зовнішньому діаметру. Коли пакет зібраний, у внутрішньому діаметрі листа робиться надріз, щоб сформувати напівзакритий паз для обмотки..

Обмотка статора складається з двох обмоток - робочої та допоміжної. Ці обмотки розташовані на відстані 90° одна від одної по колу статора. Обмотки намотані секціями. Обмотки кожної секції закріплені прядив'яною ниткою. Виносний провідник виготовлено з багатожильної бавовняної панчохи з вплетеними в нього кольоровими нитками для розмежування кінців обмоток. Для ізоляції пазів використовується електротехнічний картон або пластик, а для фіксації обмоток у пазах - волокна в якості клинів. Ротор, частина двигуна, що обертається, як і статор, є циліндричним сердечником, зібраним з окремих пла-

стин електротехнічної сталі з отворами по периферії та отвором у центрі для кріплення ротора до валу. Після складання ротора отвори утворюють канавки, заповнені алюмінієм. Коли ротор відливається з алюмінію, формується кільце, яке електрично замикає два кінці стрижня. Такі ротори називаються роторами з коротким замиканням. У деяких роторах з одного боку кільця короткого замикання відлиті вентиляційні лопатки, що полегшують охолодження обмоток. Іноді на ротор встановлюють противаги, щоб урівноважити неврівноважену масу приводного механізму.

Принцип роботи асинхронних двигунів заснований на взаємодії струмоведучого провідника з магнітним полем. Однак спосіб створення магнітного потоку і струму в провідниках таких двигунів має свої особливості. В асинхронних двигунах крутний момент створюється за рахунок взаємодії між магнітним полем обмотки статора і струмом у провіднику обмотки ротора, індукованим магнітним полем обмотки статора.

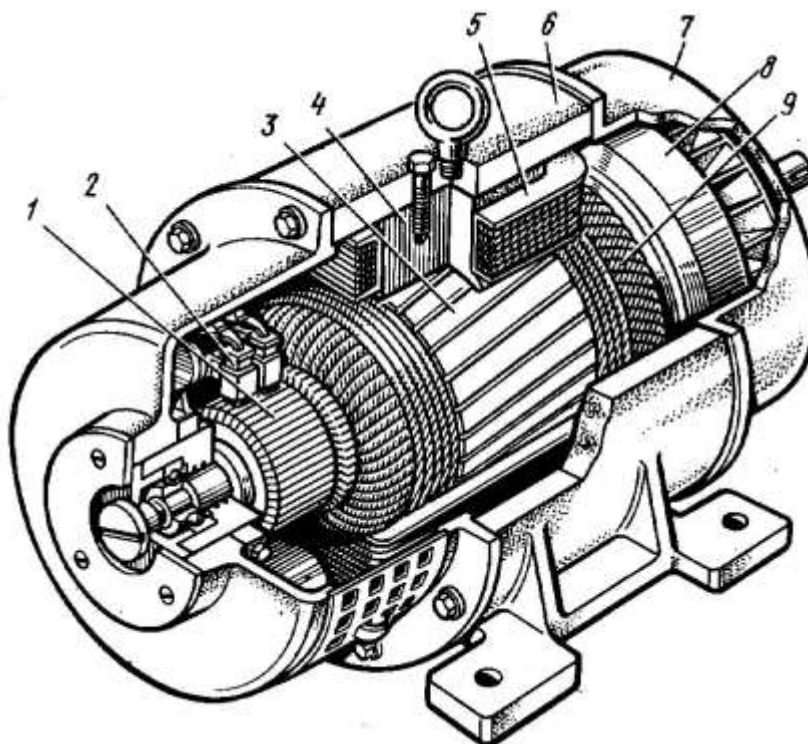
1.1.2 Колекторні електродвигуни

Відмінною конструктивною особливістю колекторних машин постійного струму є наявність колектора, де робоча обмотка (обмотка якоря) під'єднується до навантаження (режим генератора) або джерела живлення (режим двигуна). Колектор є механічним перетворювачем. У поєднанні з контактними щітками він перетворює постійний струм на змінний і навпаки [3].

Конструкцію захищеного колекторного двигуна постійного струму показано на рис. 1.3.

Статор являє собою збірну конструкцію і складається з каркаса 6, головного полюса 4 з каркасною полюсною котушкою 5, тобто полюсною котушкою 5, намотаною на каркас з ізоляційного матеріалу. Якір двигуна містить у собі сердечник, обмотку якоря, колектор і вал. Сердечник якоря 3 являє собою

циліндр, виготовлений зі штампованого сталевго листа товщиною 0,5 мм. По-
здовжні пази в сердечнику якоря сполучаються з пазами секції обмотки якоря.
Обмотка якоря 9 виконана з мідного ізолюваного дроту.



- 1 - вал; 2 - передній підшипниковий щит; 3 - колектор; 4 - щіткотримач;
5 - сердечник якоря с обмоткою; 6 — сердечник головного полюса;
7 - полюсна катушка; 8 - станина; 9 - задній підшипниковий щит;
10 - вентилятор; 11 - лапи; 12 — підшипник

Рисунок 1.3 – Будова колекторного двигуна

Колектор двигуна 1 має циліндричну форму і складається з мідних
пластин, ізолюваних одна від одної міканітними прокладками [2].

1.1.3 Синхронні електродвигуни

Характерною особливістю синхронних двигунів є те, що ротор оберта-
ється з синхронною частотою, незалежно від навантаження на вал. Тому синхрон-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

13

ні двигуни використовують у системах автоматизації для приводу механізмів, що вимагають строго стабільної швидкості. Як і асинхронні, синхронні двигуни складаються з нерухомого статора та рухомого ротора, розділених повітряним зазором (рис. 1.4).

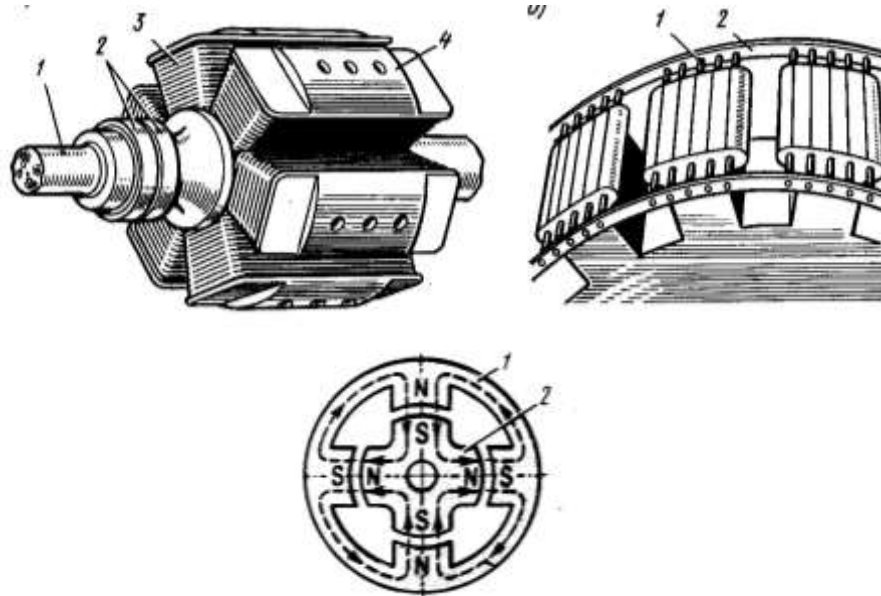


Рисунок 1.4 – Спрощена модель синхронного двигуна

Модель синхронного двигуна складається з двох магнітних систем - зовнішньої та внутрішньої, розділених повітряним зазором із чітко визначеними полюсами. Коли зовнішня система полюсів нерухома, сили магнітного тяжіння розташовують внутрішню систему полюсів (ротор) так, що її полюси виявляються нижчими за полюси зовнішньої системи протилежної полярності.

1.1.4 Крокові електродвигуни

Крокові двигуни перетворюють електричні сигнали керування в дискретні кутові переміщення вихідного вала. Кут повороту вала, званий кутовим кроком, точно відповідає кількості та послідовності керівних імпульсів, що подаються на обмотки статора крокового двигуна.

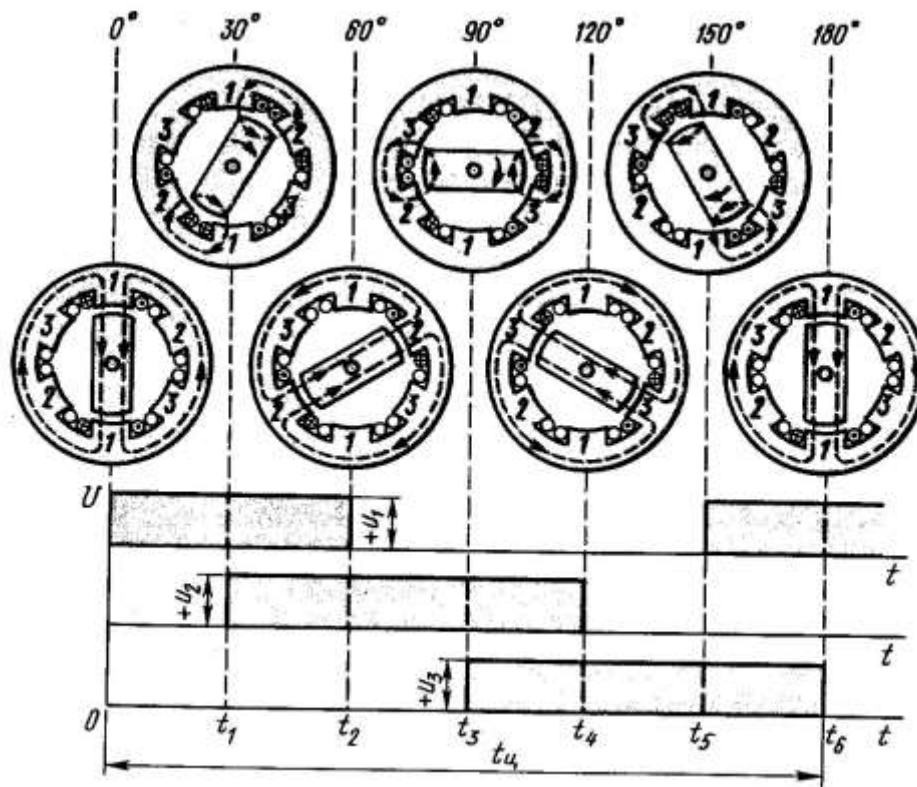


Рисунок 1.5 - Принцип дії реактивного крокового двигуна

За принципом дії крокові двигуни є синхронними, оскільки електромагнітний момент, що діє на ротор, зумовлений магнітним тяжінням між статором і магнітними полюсами ротора. Розглянемо гібридний тип двигуна з гнучким ротором (гвинтовий двигун). Такий двигун складається з синхронного реактивного двигуна і хвильової передачі, що виконує функцію ротора. Такі двигуни вирізняються малим кроком (менше ніж 1°) і поліпшеними швидкісними характеристиками (до 2000 кроків на секунду і більше).

Редуктори найчастіше використовують в електроприводах із програмованим керуванням. Існує два типи редукторів: з активним ротором і з пасивним ротором. Двигуни з активним ротором мають обмотку збудження або використовують постійні магніти в роторі. Вони мають достатній крутний момент, високу швидкість (до 5000 об/хв) і величину кроку, але швидкість реакції становить до 500 кроків/секунду [4].

Крокові двигуни з пасивними роторами (індуктивними та реактивними) здатні реагувати на швидкість до 1000 кроків/с і більше, при малих значеннях кроку $1 \square$. Такі двигуни не мають обмотки збудження, а ротор виготовлений із магнітного матеріалу без термообробки. Обмотка керування розташована в статорі пасивного ротора. Якщо обмотки знеструмлені, потрібне окреме кріплення пристрою, але зазвичай воно не використовується.

Статор має шість полюсів (по два полюси на фазу), а ротор - два полюси. Коли імпульс струму проходить через фазу 1 керуючої обмотки, ротор займає положення, відповідне до дії електромагнітної сили, тобто вздовж осі полюсів 1-1. У певний момент імпульс струму з'являється у фазі 2. У цей час на ротор діють сили, зумовлені одночасною дією двох полюсів 1-1 і 2-2 [5].

У результаті ротор повертається за годинниковою стрілкою до положення на півдорозі між полюсами 1-1 і 2-2, тобто на один крок. У момент часу 2 імпульс струму фази 1 припиняється, і ротор робить крок, а потім займає положення вздовж осі полюса 2-2. У момент часу 3 ротор також робить крок і наприкінці циклу (момент) займає положення вздовж осі полюса 1-1 статора і повертається для наступного кроку.

У наступному циклі процес FC повторюється. Таким чином, це трифазне реле реактивного двигуна працює за шестицикловою схемою ввімкнення з індивідуальним спільним ввімкненням обмоток керуючої фази: 1 12 2 23 3 31...

Це пов'язано з тим, що зміна полярності цих імпульсів не змінює напрямку реактивного моменту. Щоб змінити напрямку обертання ротора можливого двигуна, необхідно змінити систему комутації обмоток.

Крокові двигуни з активними роторами (з обмотками збудження або постійними магнітами в роторі) забезпечують високі значення крутного моменту, а також надійно блокують ротор за відсутності керуючого сигналу.

Одним із найважливіших параметрів ШД є максимальна частота керуючого імпульсу, за якої ротор втягується в синхронізацію без втрати кроку від зу-

пинки. Для крокових двигунів реактивного типу ця частота може досягати 1000-1300 Гц за номінального навантаження.

Ця частота зменшується в міру збільшення кроку. Крокові двигуни оснащені комутаторами, які являють собою пристрої, що перетворюють послідовність керуючих імпульсів у фазову систему прямокутних імпульсів напруги. Швидкість обертання крокового двигуна визначається швидкістю електромагнітного процесу під час перемикавання імпульсів керуючої напруги з однієї фази статора на іншу. Швидкість обертання крокового двигуна регулюється зміною частоти імпульсів керуючої напруги у фазах обмотки статора. Швидкість цих процесів оцінюється електромагнітною постійною часу.

1.2 Інформаційний огляд пристроїв для визначення механічної та робочих характеристик електродвигунів

Механічна характеристика - залежність (рис. 1.6), тобто залежність крутного моменту від швидкості обертання ротора має першорядне значення для характеристики електродвигунів.

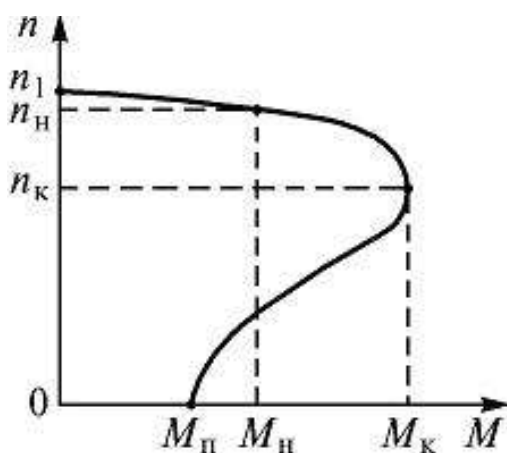


Рисунок 1.6 - Механічна характеристика електродвигуна

Механічні властивості - дуже корисний і потрібний інструмент для аналізу статичних і динамічних режимів електроприводу.

Робочі характеристики асинхронних двигунів називаються залежностями корисної потужності:

- частоти обертання ротора n_2 (або ковзання);
- коефіцієнта корисної дії η ;
- коефіцієнта потужності $\cos\varphi$;
- струму статора I_1 ;
- моменту на валу M_2 .

Робочі характеристики визначаються експериментально або будуються теоретично для постійних напруги і частоти статора. Робочу характеристику будують для області, де двигун працює стабільно (від 0 до 10... 20 %) будують для області, в якій двигун працює стабільно (від 0 до 10...20 %).

Існує безліч приладів, стендів і обладнання для вимірювання всіх перерахованих вище характеристик двигуна.

Відомі також пристрої для вимірювання крутного моменту [1]. Пристрій згідно з другим варіантом виконання містить у собі приводний вал 1 (рис. 1.7), обертально встановлений у корпусі 2, втулку 4, нерухомо закріплену (наприклад, за допомогою шпонки 3) на приводному валу 1 і таку, що має на зовнішньому боці два виступи 5, зміщених відносно один одного в кутовому напрямку.

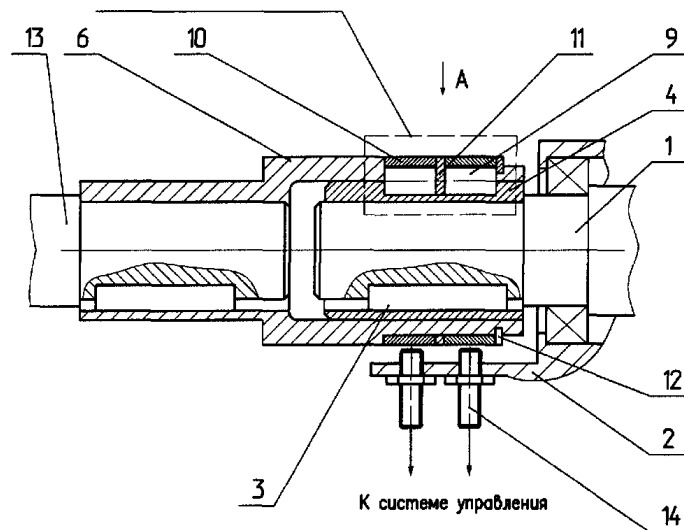


Рисунок 1.7 - Пристрій для вимірювання крутного моменту

До втулки 4 прикріплений сепаратор 6, що обертається. Сепаратор 6 має радіальну канавку 7, протилежну і симетричну кромці 5. У бічних сторонах сепаратора 6 по обидва боки від кромки 5 утворено заглиблення 8. Ударна конструкція вимірювального датчика містить елемент кочення 9, розташований у радіальній канавці 7 сепаратора 6, і пружне кільце 10, закріплене на сепараторі 6 і розташоване над елементом кочення 9. Для усунення взаємного впливу між тілом кочення 9 і пружним кільцем 10 встановлено розпірне кільце 11, усі ці деталі зафіксовані стопорним кільцем 12. Сепаратор 6 є приводною ланкою і може бути з'єднаний з робочим механізмом будь-яким способом, наприклад, через вал 13 і шпонку 12.

Пристрій працює таким чином. Під час обертання вала 1 крутний момент передається на вал 13 робочого механізму через шпонку 3, на втулку 4, потім через шпонковий паз 5 на одне з тіл кочення 9, розташоване спочатку з боку напрямку обертання, і на сепаратор 6 через радіальну канавку 7 і пружне кільце 10. Під час обертання в одному напрямку гільза 4 починає обертатися відносно фіксатора 6 і, під дією поверхні білячої шпонки 5, елемент кочення 9, що розташований першим від напрямку обертання, стискається (переміщується) радіальною канавкою 7 та починає деформуватися в радіальному напрямку, впливаючи на пружне кільце 10. Величина деформації h залежить від крутного

моменту. Деформація пружного кільця 10 можлива завдяки заглибленню 8, яке створює вільний простір для деформації пружного кільця 10 між втулкою 4 і обоймою 6. Під час такого обертання інший елемент кочення 9 утворює відносний зазор між рискою 5 і пружним кільцем 10, водночас друге пружне кільце зберігає свою первісну форму і не впливає на роботу датчика. При зміні напрямку обертання друге пружне кільце 10 починає деформуватися, перше пружне кільце зберігає свою первісну форму і не впливає на датчик 14. Коли пружне кільце 10 деформується, воно впливає безпосередньо на сенсорний елемент 14, який потім передає сигнал у вимірювальну систему.

Відомі також цифрові вимірювачі потужності, крутного моменту і швидкості обертання валів електродвигунів [2].

Цифровий вимірювач потужності, крутного моменту і швидкості обертання (рис. 1.8) містить у собі торсіонний вал 1, дзеркальні металеві відбивачі 2 і 3, автоколімаційні оптоелектронні датчики 4 і 5, схему підсумовування імпульсів 6, блок керування 7, кристалічний годинник 8, задатчик часу вимірювання 9, калібратор 10 і цифровий дисплей 11. Автоколімаційні оптоелектронні датчики (АОС) 4 і 5 містять світловипромінювальний елемент 12, автоколіматор 13, два фотодіоди 14 і 14', підсилювач 15 і 16, схему порівняння 17 і компаратор 18. Блок управління 7 містить два перетворювачі інтервального коду 19 і 20, блок управління та обчислення крутного моменту 21 і обчислювач потужності та швидкості 22.

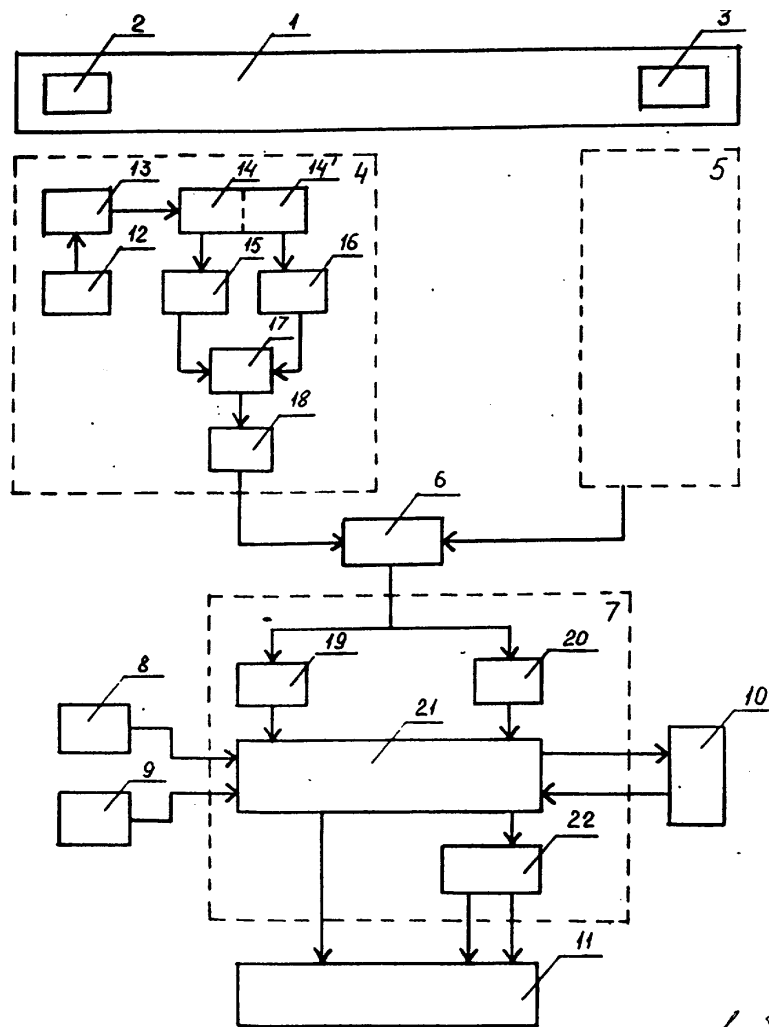


Рисунок 1.8 – Цифрові вимірювачі потужності, крутного моменту і швидкості обертання вала двигуна

Емітер потоку 12 оптично з'єднаний із двома фотодіодами 14 і 14' через автоколіматор 13 і дзеркальні металеві відбивачі 2 і 3, встановлені на кінці торсіонного вала 1, виходи яких під'єднані до схеми порівняння 17 через відповідні підсилювачі 15 і 16. Виходи під'єднані до схеми порівняння 17 через відповідні підсилювачі 15 і 16. Вихід схеми порівняння 17 через компаратор 18 під'єднано до відповідного входу схеми підсумовування імпульсів 6, а її вихід через перетворювачі інтервального коду 19 і 20 під'єднано до входу блока керування та обчислення крутного моменту. Один з виходів блоку управління і обчислення 21 підключений до входу калібратора 10, вихід якого підключений до третього входу блоку управління і обчислення 21. Другий вихід блоку

управління та обчислення крутного моменту 21 під'єднаний до цифрового дисплея 11 через обчислювач потужності та швидкості 22.

Таким чином, пропонується цифровий вимірювач потужності, крутного моменту і швидкості обертання усуває залежність від амплітуди і форми імпульсу, де положення енергетичного центру плями використовується для визначення обертального моменту на АОЕ датчика, а колімація випромінювання на пляму, що можлива лише за умови використання світлового потоку, збільшує крутизну сигналу, тим самим у результаті досягається висока точність вимірювань, оскільки підвищується точність визначення необхідного крутного моменту. Крім того, вимірювальна секція заповнена високочастотними імпульсами кварцового годинника, які вирізняються високою стабільністю і малою дискретизацією. У прототипі ж вимірювальна частина заповнена послідовністю імпульсів, період яких визначається кроком індукторної передачі, що збільшує похибку дискретизації та знижує точність вимірювань. Недоліком цього пристрою є складність його виготовлення та експлуатації під час перевірки електродвигунів.

Існують безконтактні вимірювачі крутного моменту й осьової швидкості [3], які складаються з двох датчиків сигналу, встановлених на приводному й навантажувальному валах відповідно, з'єднаних пружними вставками, що містять блок посилення та блок перетворення і вирізняються таким. Формувач імпульсів виконаний у секторному пазу однорідного корпусу диска, ємнісний або індуктивний датчик встановлений на тій самій коаксіальній лінії з тим самим тангенціальним зазором, що й корпус диска, і через вбудований підсилювач та адаптер під'єднаний до програмованого записувального пристрою або комп'ютерної системи. Система підключається до комп'ютерної системи через вбудований підсилювач і адаптер.

Пристрій складається з двох дископодібних корпусів 1 і 2 (рис. 1.9), установлених на валу приводного двигуна 3 і валу навантаження 4, наприклад,

генератора, відповідно, між якими закріплено крутильно-пружну з'єднувальну вставку 5, яка деформується пропорційно крутному моменту приводного вала. Обидва дископодібні корпуси симетрично розташовані на рівній відстані від вставки 5.

Диск виготовлено з однорідного матеріалу однакової товщини, і він має дзеркально-симетрично розташовані імпульсні елементи 6 і 7, що являють собою або прості калібровані сектори, або металеві, магнітні чи неметалеві вставки з істотними відмінностями в діелектричних чи магнітних властивостях, закріплені на цих секторах. Це може бути таким чином. Обидва диски 1 і 2 проходять через зазор між чутливими елементами 8 і 9 без контакту. Чутливі елементи 8 і 9 можуть бути індуктивними або ємнісними приймачами, під'єднаними до комп'ютерної системи 12 через блок посилення та інтеграції 10 і адаптер 11, з живленням 13 від мережі або акумулятора.

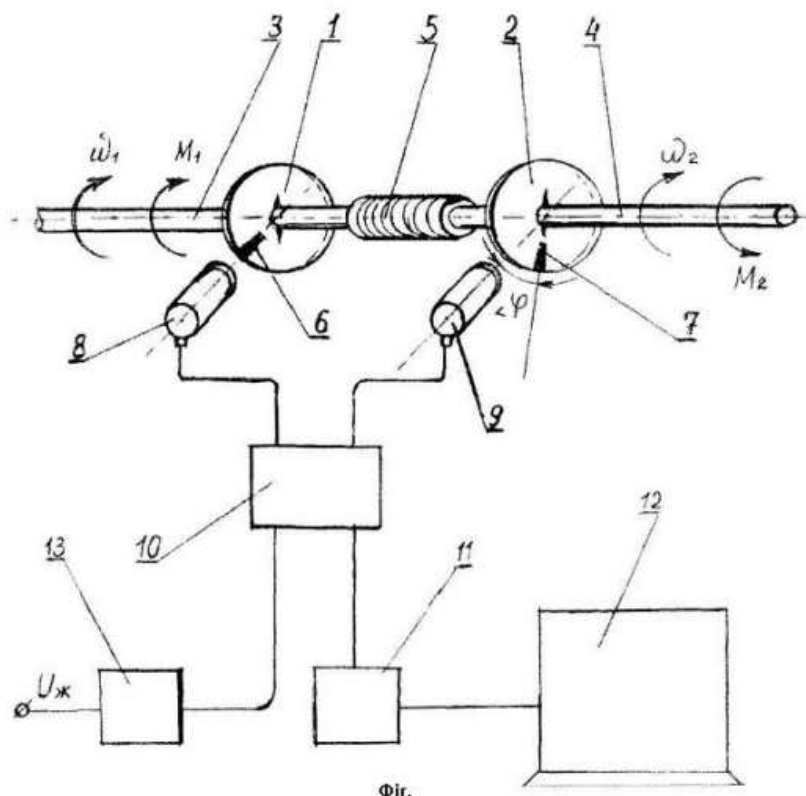


Рисунок 1.9 – Безконтактні вимірювачі крутного моменту і швидкості обертання вала

Принцип роботи пропонованого пристрою полягає в тому, що перед початком вимірювання в стані спокою диски 1 і 2 із секторними сигналоутворювальними елементами 6 і 7 дзеркально симетрично розташовуються на одній лінії, паралельній осі обертання. Після обертання вала 3 через вставку 5 і вал 4 на частотах w_1 і w_2 диски 1 і 2 також обертаються, але завдяки крутильній деформації пружної вставки 5 диск 2 повертається відносно диска 1, а елемент 7, який формує сигнал, зміщується відносно 6 на кут, величина якого складає опір навантаження в пропорційно до моменту зміщення M_2 . При збігу імпульсного елемента з датчиком формується сигнал, який надходить на підсилювач-інтегратор 10, а потім на блок адаптера 11 і периферійну комп'ютерну систему 12. Сигнал з адаптованими амплітудними параметрами надходить у програмований блок, де реєструється в часі за частотою та різницею фаз вхідних імпульсів від обертових корпусів дисків 1 і 2, що обертаються завдяки пружній деформації з'єднувальної вставки 5 пропорційно крутному моменту. Програмований блок відображає окремі параметри швидкості та крутного моменту, а також механічну потужність як їхній добуток. Така система дає змогу, наприклад, для генераторної установки безперервно вимірювати параметри навантаження і ККД генератора в усіх режимах роботи, порівнюючи миттєві значення механічної та електричної потужності.

1.3 Постановка задачі для розробки лабораторного стенду для визначення характеристик електродвигунів

Для вивчення різних типів двигунів було проаналізовано конструкцію та роботу різних типів двигунів, які використовують у промислових і побутових приладах.

Результати проілюстровано в магістерській кваліфікаційній роботі

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

[МРМА 24.000.00.00 ДО2].

Також було проведено інформаційний огляд наявного обладнання для визначення необхідних механічних та експлуатаційних характеристик двигуна, зокрема, залежності швидкості обертання вала електродвигуна від крутного моменту, залежності крутного моменту від вала, залежності струму статора, залежності ККД, залежності коефіцієнта потужності та залежності швидкості обертання вала двигуна від ефективної потужності. Результати цього огляду представлені в ілюстративній частині магістерської кваліфікаційної роботи [МРМА 24.000.00.00 ДО3].

Після аналізу цих пристроїв було зроблено висновок, що найдоцільніше використовувати безконтактні прилади для вимірювання цих властивостей. Більшість із цих приладів є безконтактними, але їхня конструкція є досить складною для виготовлення в лабораторних умовах і використання в подальшому навчальному процесі.

Як прототипи може використовуватися обладнання, в якому для вимірювання швидкості обертання вала двигуна використовуються безконтактні датчики, зокрема, безконтактні фотопари або індуктивні датчики. У поєднанні з безконтактними датчиками можна також використовувати обладнання, в якому для імітації навантаження на вал двигуна використовуються гальмівні шківни.

Висновки до розділу 1.

У цьому розділі подано інформацію про типи електродвигунів, які переважно використовуються в електричному та електромеханічному обладнанні.

Аналізуються прилади для визначення механічних та енергетичних властивостей електродвигунів.

Подано огляд завдань, необхідних для розроблення лабораторного стен-

да для визначення властивостей електродвигунів.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		26

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

2.1 Розробка структурної схеми лабораторного стенду для визначення характеристик електродвигунів

Електродвигуни є одним з основних конструктивних елементів електро-механічних побутових приладів і багато в чому визначають їхню надійність і продуктивність.

Електродвигуни, що використовуються в побутовій техніці, можна умовно розділити на дві групи: безколекторні та колекторні. До першої групи належать асинхронні та синхронні двигуни. До другої групи належать двигуни постійного, змінного струму та універсальні колекторні двигуни.

Принцип роботи асинхронних двигунів заснований на взаємодії струмоведучого провідника з магнітним полем. Однак спосіб створення магнітного потоку і струму в провідниках таких двигунів має свої особливості. В асинхронних двигунах крутний момент створюється за рахунок взаємодії магнітного поля обмотки статора і струму в провіднику обмотки ротора, індукованого магнітним полем обмотки статора. Вирішення проблем вимірювання потужності та крутного моменту необхідне під час розроблення різних типів двигунів і гальмівних пристроїв, а також під час проектування коробок передач, муфт та інших компонентів транспортних засобів, машин, що обертаються, та агрегатів.

Стенди також можуть використовуватися для запуску виробів після складання (ремонт) з метою перевірки відповідності деталей і вузлів, що сполучаються, вимірювання параметрів і характеристик виробів, проведення ресурсних випробувань і приймально-здавальних випробувань.

У цій статті описуються однофазні асинхронні двигуни, що використо-

вуються в холодильниках, пральних машинах, сушильних машинах, прасках, кухонній техніці, подрібнювачах сміття, кондиціонерах, вентиляторах та інших побутових приладах. Зокрема, використовується стенд для визначення характеристик двох типів двигунів: конденсаторних і двигунів із пусковими обмотками.

Для визначення характеристик електродвигуна було обрано два безконтактні методи вимірювання частоти обертання вала електродвигуна, а отримані значення використовували для визначення механічних та експлуатаційних характеристик електродвигуна. Ці два методи - метод вимірювання на основі стробоскопа і метод вимірювання на основі оптопарадатчика.

Блок-схема експериментального стенда для визначення характеристик електродвигуна складається з таких основних блоків і компонентів (рис. 2.1)

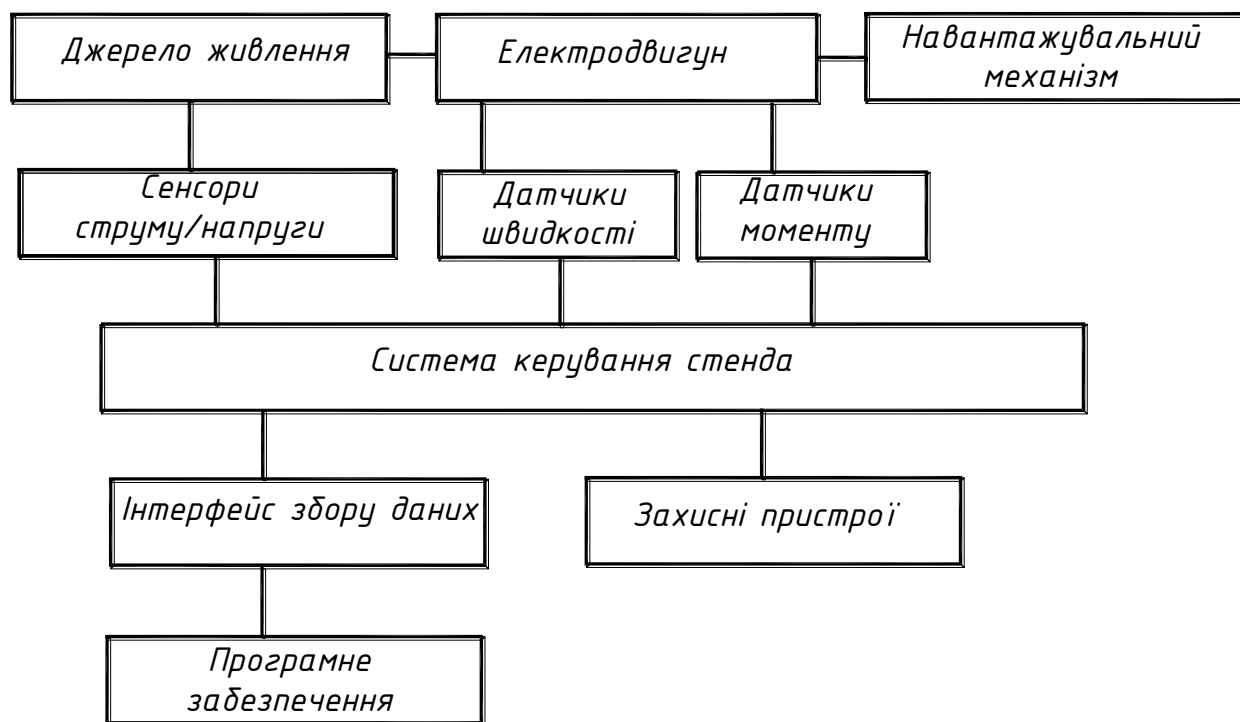


Рисунок 2.1 - Блок-схема лабораторного стенда для вимірювання характеристик електродвигунів

1. Джерело живлення:

- Забезпечує живлення електродвигунів і допоміжних систем.
 - Може постачатися у вигляді регульованого блока живлення для зміни напруги та струму.
2. Електродвигун:
- Досліджуваний електродвигун (постійного або змінного струму).
 - На малюнку показано основні об'єкти дослідження.
3. Навантажувальний механізм:
- Можна створювати різні режими роботи двигуна (механічне гальмо, генератор, фрикційний механізм тощо).
 - Використовується для моделювання різних умов роботи двигуна.
4. Сенсори та вимірювальні пристрої:
- Датчики обертів (тахометри) - для вимірювання швидкості обертання валів двигунів. - Блок датчиків із фотопарою для реєстрації швидкості обертання вала;
 - Датчик крутного моменту - для визначення механічних навантажень.
 - Амперметри і вольтметри - для вимірювання споживаного струму і напруги.
 - Ватметр – для визначення споживаної потужності.
5. Система керування:
- Контролери, що керують робочими параметрами двигуна (наприклад, мікроконтролери або промислові контролери ПЛК).
 - Можливе керування швидкістю, струмом і моментом.
6. Інтерфейс збору даних:
- Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) для оцифрування вимірювального сигналу.

7. Персональні комп'ютери для опрацювання та відображення даних із графіків і таблиць за механічними та експлуатаційними характеристиками електродвигунів.

8. Програмне забезпечення для аналізу даних:

- Візуалізація характеристик двигуна (наприклад, швидкість проти крутного моменту, струм проти навантаження).

- Можливість експорту даних для подальшого аналізу.

9. Захисні пристрої:

Використовуйте вимикачі, запобіжники та захисні реле для забезпечення безпечної роботи стенду.

Блок-схема лабораторного стенда для вимірювання характеристик електродвигуна, що показує взаємозв'язок усіх елементів та їхнє загальне призначення.

2.2 Підбір конструктивних елементів лабораторного стенду для визначення характеристик електродвигунів

Щоб визначити швидкість обертання головного двигуна за допомогою стробоскопа, необхідно зробити білу мітку на поверхні шківів 1 на валу двигуна, який слугує датчиком.

Стробоскопічні тахометри працюють на основі ефекту, за якого обертання вала ніби зупиняється. Для досягнення цього ефекту потік світла від обертового вала або об'єкта до ока оператора періодично переривається. Частоту переривань встановлюють таким чином, щоб під час кожного імпульсу було видно одну й ту саму фазу обертання об'єкта, а тривалість переривання між сусідніми імпульсами не перевищувала часу, протягом якого візуальне сприйняття імпульсу повністю зникає. У міру повторення імпульсів залишок візуального сприйняття однієї й тієї самої фази обертання інтегрується в удаване нерухо-

ним зображення об'єкта або вала.

Нерухомий стробоскопічний ефект виникає, коли частота імпульсів дорівнює швидкості обертання вала n об/хв, тобто називається базовою синхронізацією. Якщо i - будь-яке ціле число, виникає множинна синхронізація, за якої кожна точка на валу встигає зробити i обертів за час між імпульсами та займає точно таке саме положення в кожному імпульсі. У цьому разі стробоскопічне зображення менш освітлене і є точною копією спостережуваного об'єкта. На певних частотах відбувається множинна синхронізація - множинна, подвійна, потрійна, ... в результаті чого виходить нерухоме зображення i -го зображення. Таке зображення виходить тому, що під час кожного обертання вала спостережувана точка фіксується оком у двох протилежних положеннях, в одному випадку двічі, створюючи враження, що дві точки нерухомі, а в іншому - тричі, що дає змогу одержати множинне зображення трьох або інших нерухомих точок на викривленій стробоскопічній фотографії, наприклад, тричі. Це відбувається тому, що. Множинні стробоскопічні зображення виникають і тоді, коли їх можна виразити у вигляді цілого відношення без спільного множника, наприклад $3/2$ (60 імп/с, для $n = 40$ об/с). У цьому випадку стробоскопічний малюнок складається не з однієї, а з трьох точок.

Наявність кількох синхронізацій може призвести до помилкових висновків про значення швидкості обертання вала. Щоб уникнути цього, правильним слід вважати найбільше значення швидкості, за якого спостерігається головне нерухоме зображення точки або об'єкта на кінці вала.

Ефективність стробоскопічних тахометрів залежить від чіткості спостережуваної форми, тобто від співвідношення між інтенсивністю світлових спалахів і постійною освітленістю об'єкта. Це співвідношення визначається контрольною чутливістю ока і залежить, зокрема, від частоти повторення та інтенсивності спалахів. Існує залежність між тривалістю спалаху або поворотом затвора та швидкістю, з якою можна чітко спостерігати об'єкт, що визначає час

відкриття затвора або тривалість спалаху t :

$$t \leq \frac{\Delta}{\pi \cdot d \cdot n} \quad (2.1)$$

де d - діаметр вала в м;

n - швидкість обертання об/с;

Δ - збільшення ширини спостережуваних фігур в м.

Під час зміни швидкості обертання співвідношення тривалості спалаху та інтервалу між спалахами має бути $t/t_{\text{снал}} \leq 0,05$.

Точність стробоскопічних методів залежить здебільшого від точності виконання завдання і підтримання частоти візуального імпульсу. Тому для підвищення точності стробоскопічні тахометри оснащуються спеціальними стабілізаторами частоти. У механічних стробоскопічних тахометрах часто використовують відцентровий регулятор для стабілізації швидкості обертання перфорованого диска, а в електронних - спеціальні схеми з кристалом або вилкою. Електронні схеми підвищують стабільність швидкості імпульсів і, відповідно, точність вимірювання швидкості обертання, при цьому похибка не перевищує 0,1%.

Електронні стробометри з імпульсними лампами, що живляться від спеціальних, часто ступінчастих, релаксаційних генераторів із плавною зміною частоти, дуже точні.

На нашому лабораторному стенді ми використовуємо стробоскопічний тахометр 2ТСТ (рис. 2.2). Цей тахометр призначений для безконтактного вимірювання частоти обертання шпинделя досліджуваного електродвигуна.

Строботаксометр 2ТСТ може проводити вимірювання в семи діапазонах від 250 до 32 000 об/хв (від 250 до 500, від 500 до 1000, від 1000 до 2000, від 2000 до 4000, від 4000 до 8000, від 8000 до 16000 і від 16000 до 52 000 об/хв).

Основна похибка строботаксиметра становить не більш як $\pm 0,5\%$ від показань за температури довкілля $+20^{\circ}\text{C}$ при живленні 127 В або 220 В.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд строботаксиметра 2ТСТ

Технічні особливості стробоскопічного тахометра 2ТСТ:

1) Верхня межа вимірювання 99990 об/хв у режимі SENSOR і 30000 об/хв у режимі LAMP; нижня межа 250 об/хв у режимі LAMP і 150 об/хв у режимі SENSOR.

2) Кількість вимірювальних піддіапазонів стробоскопічного тахометра 2ТСТ у режимі «LAMP» дорівнює 4: I - від 250 об/хв до 999,9 об/хв, II - від 1000 об/хв до 3000 об/хв, III - від 3000 об/хв до 9999 об/хв, IV - від 10000 об/хв до 30000 об/хв;

3) Кількість вимірювальних піддіапазонів стробоскопічного тахометра 2ТСТ у режимі «SENSOR» становить 4: I - від 150 до 500 об/хв, II і III - від 500 до 5000 об/хв, IV - від 5000 до 99990 об/хв.

4) Клас точності 2ТСТ.

5) Межі допустимої похибки - 0,2% від верхньої межі вимірювання від-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

33

повідного піддіапазону;

6) Середній час відновлення працездатного стану - 60 хв;

7) Загальний середній термін служби стробоскопічних тахометрів 2ТСТ понад 10 років.

8) Споживана потужність - не більше 25 В-А;

9) Живлення - мережа змінного струму до 220 В +22 В, 220 В-33 В, час загальний 50 Гц \pm 1 Гц;

10) Габарити приладу - 197x110x325 мм;

11) Вага - не більше 3,5 кг; освітлювач - 0,7 кг; датчик - 0,8 кг.

Нова модель стробоскопічного приладу - стробоскопічний тахометр ТС-641 (рис. 2.3) - може також використовуватися як стаціонарний пристрій для вимірювання частоти обертання шпинделя електродвигуна. Він призначений для безконтактного цифрового вимірювання частоти обертання за хвилину різних механізмів, що обертаються, в машинобудуванні, приладобудуванні, електротехніці та енергетиці, після збирання, монтажу, експлуатації та ремонту, а також для візуального контролю коливань (вібрацій) машин і визначення їхньої частоти.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		34



Рисунок 2.3. – Тахометр стробоскопічний ТС-641

До них належать стабілізатори напруги, генератори змінних імпульсів, друковані плати, що включають перетворювачі частоти і напруги, блоки акумуляторів, стробоскопічні освітлювачі на основі світлодіодів (робочий цикл світлового імпульсу становить 1/100 обороту) та АЦП з цифровими РК-дисплеями на основі міні-мультиметрів.

TS-641 має унікальний перший стробоскопічний упор, який спрощує процес вимірювання. Він простий, зручний у використанні, компактний і портативний.

Технічні характеристики стробоскопічного тахометра TS-641:

- 1) Діапазон вимірювання 300 - 20 000 об/хв.
- 2) Діапазон частоти коливань 10 - 330 Гц
- 3) Відносна похибка вимірювання не більше ніж 3,5%
- 4) Кількість цифр дисплея 3,5 5
- 5) Відстань: освітлювач - механізм, що обертається, не більше ніж 50 см.
- 6) Живлення (В): однофазна мережа 50/60 Гц (від адаптера ВРZ-641) -

220; акумуляторна батарея (або інше джерело постійного струму 12 В) - 12 В.

7) Час безперервної роботи від акумуляторної батареї становить 15 годин.

8) Габаритні розміри 150x135x50 мм

9) Вага кг (макс.) 0,9

Вимкніть вимикач із написом «живлення від мережі» і увімкніть строботаксиметр, при цьому загориться лампа підсвічування на шкалі. Після прогрівання обладнання протягом 3-5 хвилин поверніть перемикач із написом «лампа», щоб увімкнути імпульсну лампу. Світло від імпульсної лампи спрямовується на об'єкт вимірювання залежно від правильності встановлення освітлювача і переміщення імпульсної лампи всередині освітлювача. Щоб правильно встановити лампу, звільніть гвинт на задній панелі освітлювача та за його допомогою перемістіть лампу й зафіксуйте її в такому положенні, щоб вона найяскравіше висвітлювала об'єкт, за яким ведеться спостереження.

Межі вимірювання частоти спалахів у кожному діапазоні встановлюються обертанням верньєра. Один верньєр призначений для швидкої зміни частоти, інший - для точного налаштування. Вимірювання зчитуються шляхом переміщення покажчика за шкалою. Положення перемикача діапазонів вказує, яка шкала використовується для підрахунку і на який коефіцієнт множиться результат підрахунку. Наприклад, якщо перемикач діапазонів перебуває в положенні, позначеному червоним кружком із цифрою 2, це означає, що показники знімають за шкалою, позначеною червоним кольором, і результат множать на 2.

Основна перевага стробоскопічних таксометрів полягає в тому, що вони можуть вимірювати швидкість без контакту з вимірюваним об'єктом. Це дає змогу, з одного боку, вимірювати швидкість видимих, але важкодоступних об'єктів і, з іншого боку, вимірювати швидкість малопотужних об'єктів без сильного впливу приладу на об'єкт.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		36

Крім перерахованих вище методів вимірювання швидкості обертання вала двигуна, існує ще один метод вимірювання, що використовує цифровий оптичний датчик типу «Optopara» в поєднанні зі шліцьовим шківом.

Для цього методу можуть використовуватися три типи оптичних датчиків:

1. Моноблоки: приймач уловлює розсіяний пучок світла джерела випромінювання, відбитий від контрольованого об'єкта. Випромінювач і приймач встановлюються в одному корпусі. Дальність виявлення таких датчиків становить до 1000 мм.

Для вимірювання відстані удару як контрольний об'єкт використовували пластину 100x100 мм з темно-сірою матовою металевою поверхнею. Залежність відстані удару і площі відбитої поверхні від різних матеріалів об'єкта контролю має такий вигляд: крім відбивної здатності матеріалу об'єкта контролю, умови довкілля також чинять значний вплив на відстань опромінення даного типу перемикача. Щоб унеможливити вплив сторонніх звукових об'єктів на роботу, перемикач оснащений регулюванням чутливості приймача.

2. Моноблочна поляризація. Перемикач активується, коли катафойл закріплений і відбитий від нього промінь переривається контрольованим об'єктом. Зверніть увагу, що перемикач не сприймає світло, відбите від інших об'єктів, окрім катафота. 2) Катафот встановлюють на контрольований об'єкт, у цьому разі всі інші об'єкти не видно перемикачу. Це робить вимикач вигідним для використання в системах охоронної сигналізації. Під час визначення відстані впливу катафорез, наданий виробником, використовується як еталонний об'єкт для вимикачів, що працюють під поляризованим світлом. У цьому разі максимальна відстань спрацьовування визначається відстанню між вимикачем і катафотом.

3. 2 пристрої: джерело випромінювання і приймач розміщені в окремих корпусах; будь-який об'єкт, що блокує прямий пучок світла від J-реле до прий-

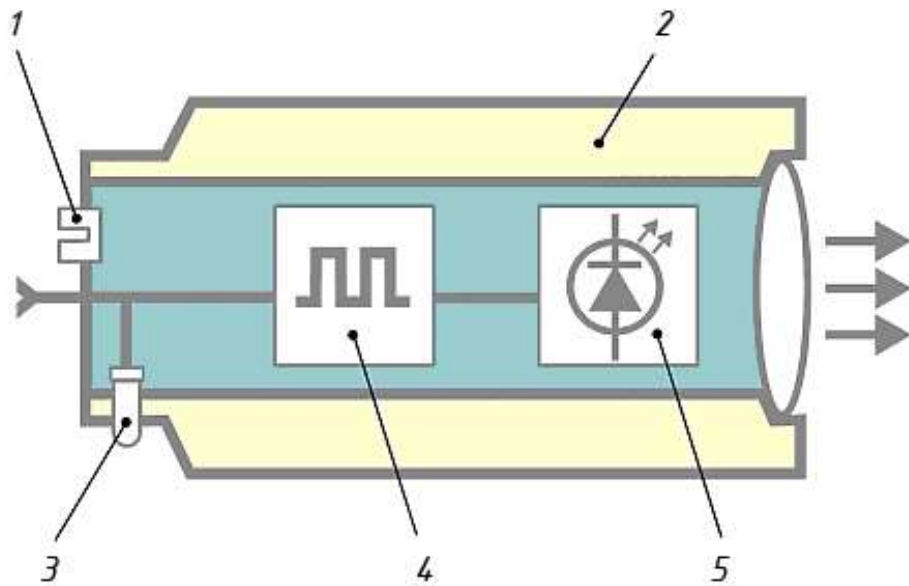
мача, викликає зміну електричного сигналу на виході приймача. Відстань спрацьовування таких перемикачів не залежить від матеріалу контрольованого об'єкта. Максимальна відстань спрацьовування визначається як відстань між джерелом випромінювання і приймачем, яка становить 16 м. Крім того, вимикачі цього типу оснащені синхронізатором імпульсів і можуть працювати за дуже сильного зовнішнього освітлення.

Для вимірювання робочих і механічних характеристик електродвигуна за допомогою цифрового оптичного датчика типу Optopara в лабораторній установці встановлений ділительний диск діаметром 100 мм з 24 прорізами на шківі 1 на валу електродвигуна.

Така конструкція забезпечує підрахунок кількості імпульсів, що випускаються випромінювачем датчика Optopara, потім проходження через щілину в сегментованому диску, реєстрацію в приймачі датчика Optopara, посилення і передачу в комп'ютер через COMPORT для відображення відповідного імпульсу. COMPORT.

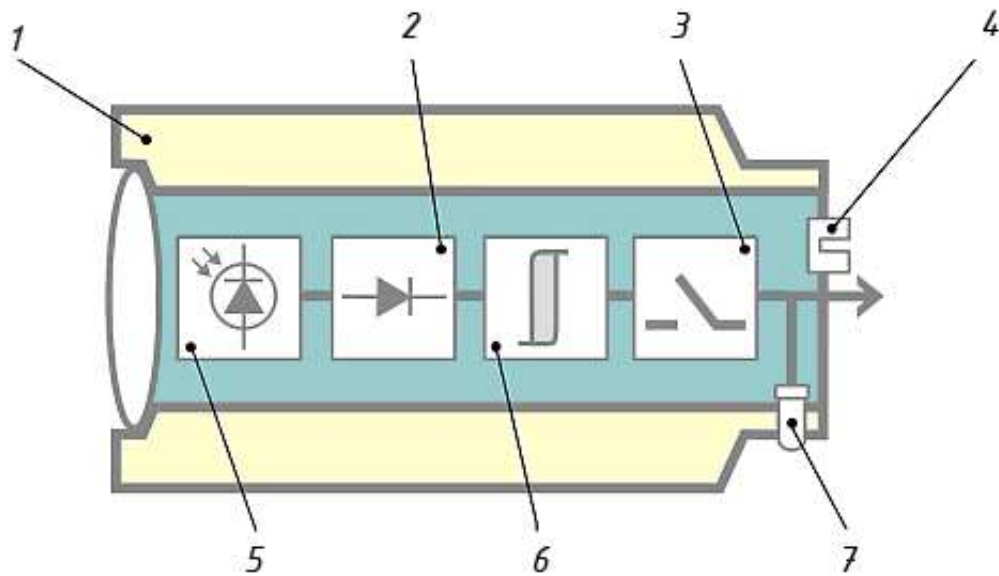
Як датчики «оптопари» використовували оптичні маніпулятори (комп'ютерні «миші»).

Оптичні безконтактні датчики («оптопари») складаються з двох функціонально завершених блоків: джерела випромінювання (рис. 2.4) і приймача цього випромінювання (рис. 2.5).



1 – підлаштовувачий елемент; 2 – корпус; 3 – індикатор; 4 – генератор;
5 - випромінювач

Рисунок 2.4 – Схема випромінювача для датчиків Орторага



1 – корпус; 2 – демодулятор; 3 – електронний ключ; 4 - підлаштовувачий елемент; 5 – фотодіод; 6 – тригер; 7 - індикатор

Рисунок 2.5 - Схема приймача датчика Орторага

У цій оптопаровій системі елементи виконують такі функції:

- 1) Генератор генерує серію електричних імпульсів, які надходять на емітер.
- 2) Випромінювачі - інфрачервоні або оптичні (червоні) світлодіоди, що створюють випромінювання;
- 3) Індикатори показують, що на випромінювач подається напруга живлення.
- 4) Фотодетектор (фототранзистор) - сприймає випромінювання і перетворює його в електричний сигнал.
- 5) Тригери, що забезпечують необхідну крутизну і гістерезис фронту сигналу перемикавання;
- 6) Демодулятор - збільшує амплітуду вихідного сигналу до необхідного значення. Як елементи перемикавання використовуються потужні транзистори.
- 7) Світлодіодні індикатори показують увімкнення/вимкнення, забезпечують контроль продуктивності та швидке налаштування і ремонт обладнання.
- 8) Корпус (компаунд) забезпечує необхідний ступінь захисту від твердих осколків і потрапляння води. Корпус кріпить автоматичний вимикач і захищає його від механічних впливів. Він виготовлений із поліаміду й оснащений арматурою.

Для механічного навантаження електродвигунів на стендах такого типу використовують різні типи гальмівних пристроїв, що дають змогу регулювати величину навантажувального (протидіючого) моменту на валу двигуна й одночасно вимірювати цей момент.

Фрикційні та електромеханічні гальмівні пристрої широко використовуються під час дослідження електродвигунів. У цьому стенді як навантажувальний пристрій обрано стрічкове гальмо (рис. 2.6).

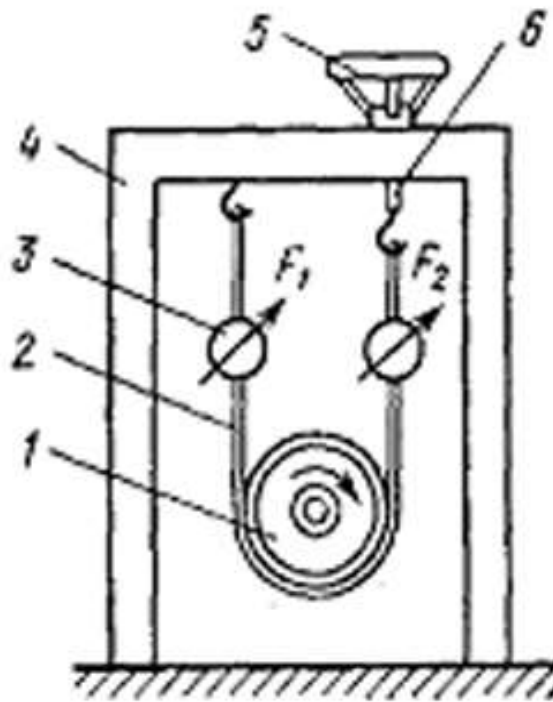


Рисунок 2.6 - Стрічкове гальмо

Гальмо складається з гальмівної стрічки 2, що охоплює шків 1, встановлений на валу випробовуваного двигуна, двох динамометрів 3, гвинта 6 і маховика 5 з нагвинченою на гвинт гайкою.

2.3 Розробка кінематичної схеми лабораторного стенда для визначення характеристик електродвигунів

Дослідження однофазних асинхронних двигунів проводиться за допомогою обладнання, показаного на малюнку [МРМА 24.00.00.000 КЗ].

Стенд містить електродвигун 1 (рис. 2.7), вал електродвигуна 2, шків 3 і металевий ремінь 4 як гальмівний пристрій, сили тертя між натягом ремня і шківом забезпечуються пружиною крутного моменту 5 і піднімаються гвинтовою передачею 6, встановленою на рамі стенда. Вал двигуна навантажений гайкою 7. Навантаження на вал двигуна регулюється гайкою 7.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

41

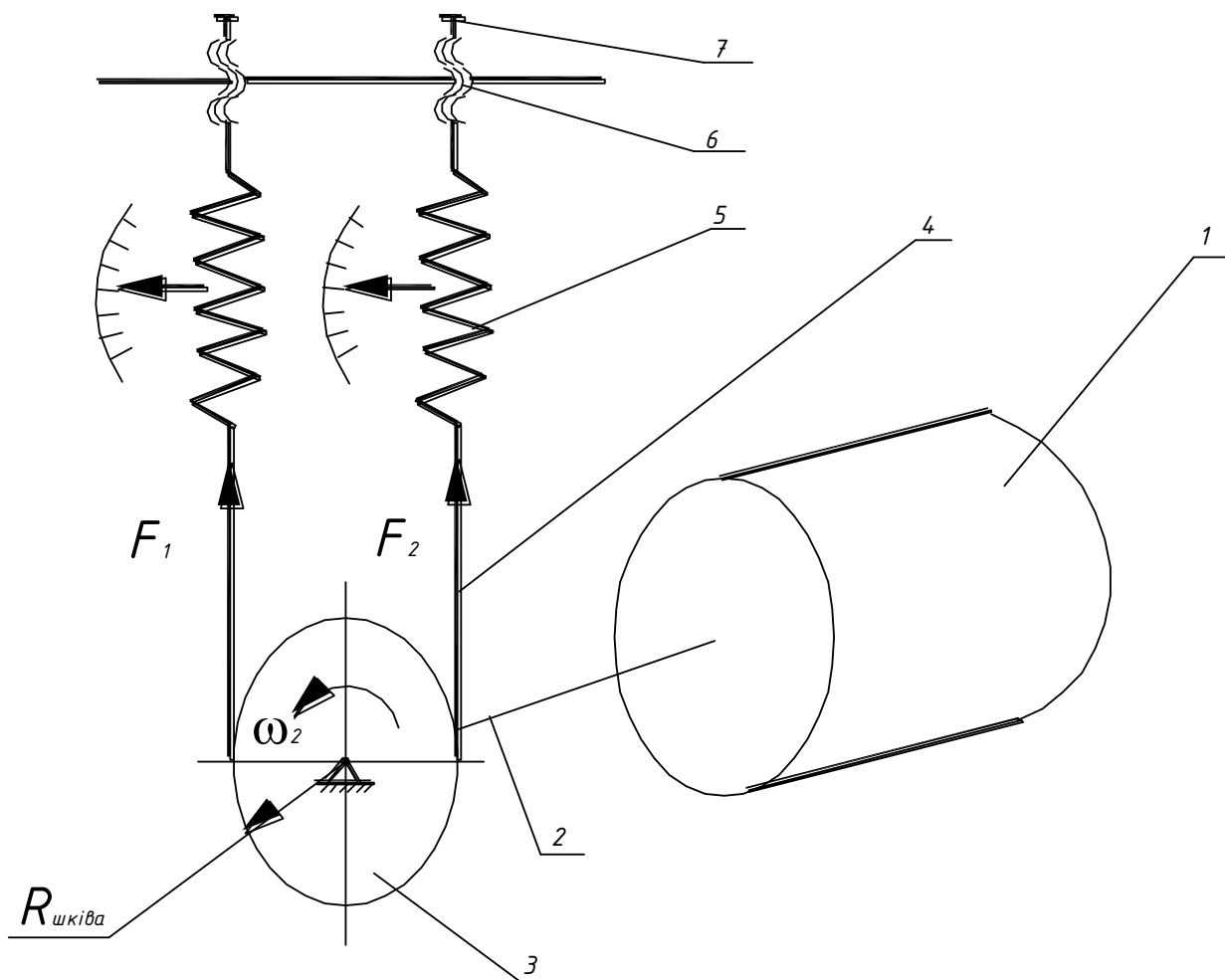


Рисунок 2.7 – Схема руху станда для вимірювання характеристик електродвигуна

2.4 Розробка електричної схеми лабораторного станда для визначення характеристик електродвигуна

Станд, показаний на рис. 2.8, 2.9 і 2.10, використовується для вивчення однофазних асинхронних двигунів.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

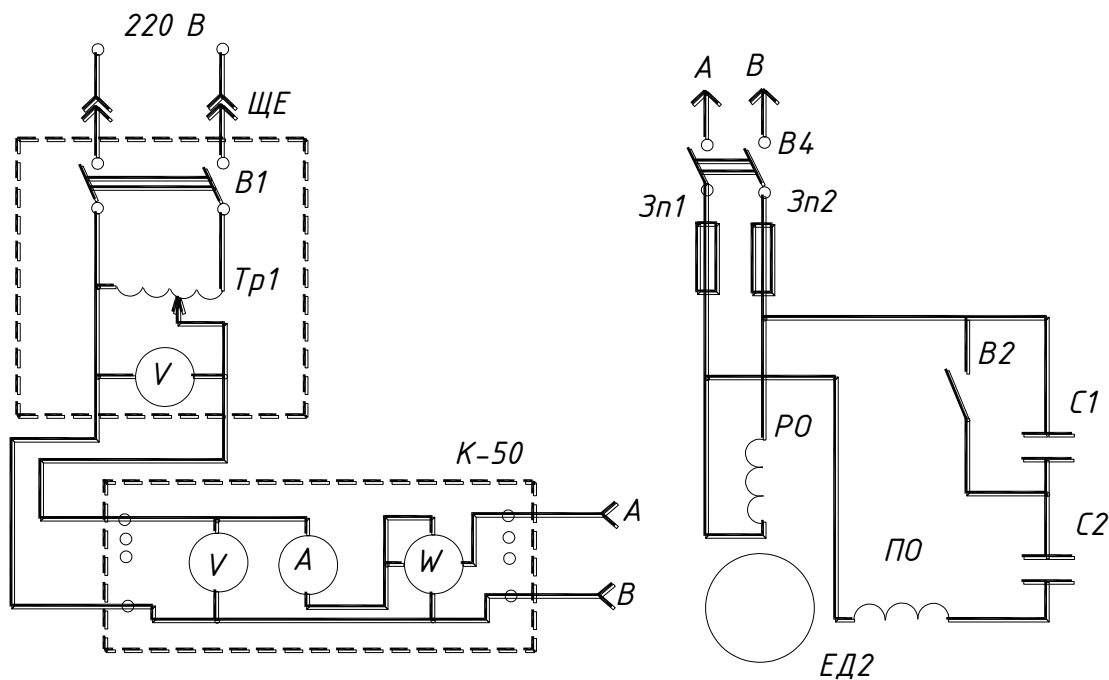


Рисунок 2.8 - Електрична схема асинхронного двигуна з пусковою обмоткою з використанням стробоскопічного тахометра

Живлення двигуна здійснюється від силової панелі з вимикачем В1, експериментальним автотрансформатором Тр1 і вольтметром. Крім того, в ланцюзі живлення є вимірювальний комплект К-50 для більш точного вимірювання струму, потужності та напруги електродвигуна. Швидкість обертання електродвигуна вимірюється стробоскопічним тахометром 2ТСТ-5. Рис. С1 і С2 - конденсатори; В2, В3 і В4 - вимикачі; РО - робоча обмотка; ДО - допоміжна обмотка; ПО - пускова обмотка; F1 і F2 - запобіжники.

Огляньте електродвигуни з пусковими обмотками за допомогою відповідного обладнання та стробоскопа для визначення частоти обертання двигуна. Перевіряйте конденсаторні двигуни за допомогою відповідного обладнання і датчика з оптичною системою для визначення частоти обертання вала.

Схема стробоскопа складається з однополуперіодного випрямляча на діоді VD1 (мал. 2.9), імпульсної лампи VL1, запалювального пристрою на деніс-

трі VS1 та імпульсного трансформатора Т1. Як відомо, імпульсна лампа запалюється тільки за наявності достатньої постійної напруги між її анодом і катодом і подачі високовольтного імпульсу із вторинної обмотки трансформатора на електрод запалювання. У цих умовах газу всередині лампи іонізуються, і між електродами лампи відбувається діелектричний пробій, що викликає яскравий спалах.

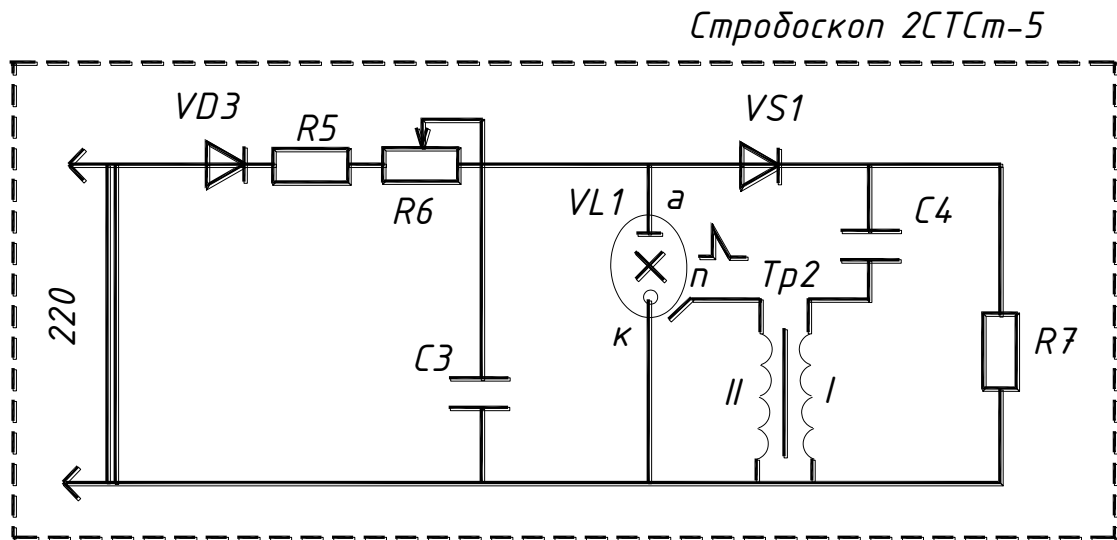


Рисунок 2.9 – Метод визначення характеристик асинхронних двигунів з пусковою обмоткою за допомогою стробоскопічного тахометра

Стробоскоп працює таким чином. Під час подавання мережевої напруги конденсатор С1 починає заряджатися (через резистори R1 і R2). Оскільки диністор під'єднаний паралельно конденсатору С1 через резистор R3, напруга між анодом і катодом диністора збільшується. За певної напруги диністор також відкривається через конденсатор С2, внаслідок чого через первинну обмотку підвищувального трансформатора проходить імпульс струму. На клеммах вторинної обмотки цей імпульс досягає кількох тисяч вольт. Лампа вмикається, і конденсатор С1 розряджається. Потім цей процес повторюється.

Частота миготіння залежить від значень компонентів R1, R2 і C1. Її можна регулювати за допомогою змінного резистора R2. Енергія спалаху (іншими словами, його яскравість) залежить від ємності конденсатора C1 і напруги, за якої він може бути заряджений. Це обмежено напругою розімкнутого ланцюга диністора. Якщо необхідно збільшити яскравість спалаху, достатньо встановити конденсатор C1 більшої ємності і включити послідовно з диністором діод зенера на відповідну напругу стабілізації (анод діода зенера з'єднаний з анодом диністора).

Постійний резистор: МЛТ-0,5, змінний резистор: СПО-0,5. конденсатор C1-Тип К50-3, два конденсатори з номінальною напругою 160 В і ємністю 100 мкФ також можуть бути з'єднані послідовно. Конденсатор C2-МБМ з номінальною напругою 160 В. Трансформатор намотаний на кільцевому осерді 10Х6Х3 мм із фериту М2000НМ. Обмотка 1 має 4 витки дроту ПЕЛШО 0,31, а витки з 11 по 60 - ПЕЛШО 0,1.

Компоненти стробоскопа (крім лампи та імпульсного трансформатора) змонтовані на платі з ізоляційного матеріалу. Їхнє взаємне розташування не має значення, якщо вони встановлені відповідно до схеми. Імпульсні лампи з трансформаторами встановлюються у відбивачі, наприклад, у лучифляторах. Також можна використовувати великі відбивачі, наприклад, ті, що використовуються для ламп підсвічування в темних приміщеннях.

Для контролю швидкості використовується блок оптопари. Плата двигуна складається з трьох блоків: блоку датчика швидкості, блоку керування і блоку датчика навантаження. Плату двигуна під'єднують до порту РМС за допомогою роз'єму; Х2 під'єднують до порту РЗ, її використовують для під'єднання оптопари («датчика») до входу переривання INT1 і входів блока керування (Control1 і Control2).

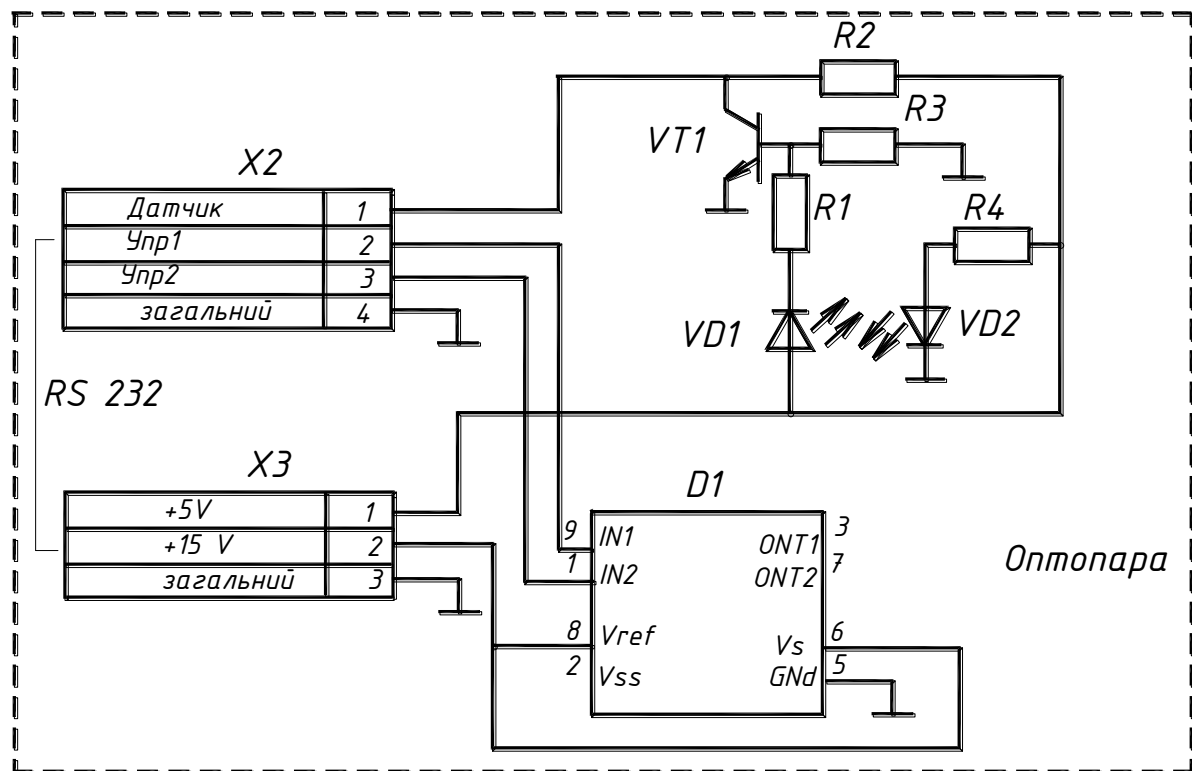


Рисунок 2.10 – Схема електричного дослідження асинхронних конденсаторних двигунів за допомогою безконтактного датчика «Оптопара»

Роз'єм X3 з'єднує схему з джерелом живлення. Датчик швидкості виконаний у вигляді диска з 24 прорізами. Він жорстко закріплений на валу двигуна. Коли щілина проходить між оптопарами, світлодіод VD2 випускає інфрачервоний промінь на фотодіод VD1, фотодатчик. Напівпровідниковий фотодетектор починає споживати струм, зменшуючи свій опір. Таким чином, транзистор VT1 відкривається, і з колектора знімається прямокутний імпульс.

Було запропоновано підтримувати швидкість двигуна в певному діапазоні, змінюючи напругу, що подається на двигун. Це впливає з того, що швидкість двигуна прямо пропорційна прикладеній напрузі. Застосування цифрових систем керування дає змогу використовувати як варіатори напруги імпульсні генератори напруги. Тривалість імпульсу і паузи динамічно формується залежно від характеру прикладеного навантаження. Поки тривалість паузи дорівнює

нулю, частота обертання зберігається при збільшенні навантаження. Потім частота обертання двигуна знижується при подальшому збільшенні навантаження. Для поліпшення підтримання частоти обертання напруга живлення має бути якомога вищою.

2.5 Розрахунок пропускної здатності ComPort для безконтактного датчика «Оптопара»

Для того щоб передати дані з безконтактного датчика з оптопарою та надалі опрацювати й відобразити їх, необхідно: розрахувати смугу пропускання com-порту; розрахувати коефіцієнт посилення імпульсів, які надходять із датчика для передавання на комп'ютер. Схему підключення датчика з оптопарою до комп'ютера показано на рис. 2.11.

Розрахуйте кількість імпульсів на секунду

$$N = n \cdot K \quad (2.2)$$

де n - кількість обертів головного вала, $n = 30$ об/с;

K - кількість дискових слотів, $K = 24$ шт,

$$N = 30 \cdot 24 = 720 \text{ імпульсів}$$

1 імпульс – 8 біт, а загальна пропускна здатність $N_{заг}$ буде рівна

$$N_{заг} = N \cdot 8 = 720 \cdot 8 = 5760 \text{ біт/сек.}$$

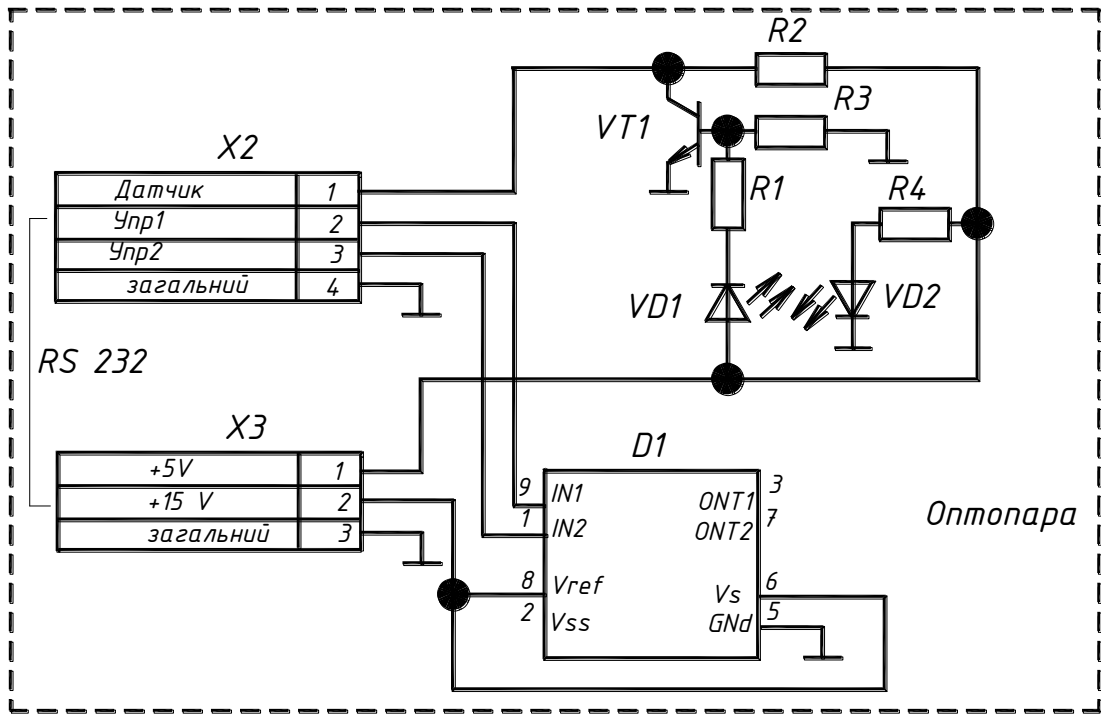


Рисунок 2.11 - Схема підключення датчика з оптопарою до комп'ютера

Нормалізована смуга пропускання порту ComPort становить 9600 біт/с. Це означає, що обраний ComPort можна використовувати для передавання даних.

Для посилення сигналу від оптичного датчика необхідно вибрати такі резистори посилення. [МРМА 24.00.00.000 КЗ].

$$V_0 = \frac{R_1}{R_{\text{діода}}} \quad (2.3)$$

$$R_1 = V_0 \cdot R_{\text{діода}} = 15 \cdot 200 = 3 \text{ МОм,}$$

де V_0 - вихідна напруга датчика, $V_0 = 15$;

$R_{\text{діода}}$ - опір діодного моста оптопарі, $R_{\text{діода}} = 200 \text{ КОм.}$

2.6 Моделювання лабораторного стенду для вимірювання характеристик електродвигуна програмним комплексом JMCAD

Програмний пакет JMCAD призначений для аналізу динаміки та проектування різних систем і пристроїв. Завдяки зручному редактору блок-схем, великій бібліотеці стандартних блоків і вбудованій мові програмування можна реалізувати моделі практично будь-якої складності, водночас їхнє представлення буде наочним. Програмний пакет JMCAD використовують для проектування систем автоматичного керування, слідкувальних приводів, роботів-маніпуляторів, теплових електростанцій та для розв'язання перехідних крайових задач (наприклад, теплопровідність, гідродинаміка).

Версія JMCAD доступна з вихідним кодом ядра, бібліотек і є відкритою системою з повною документацією та серією демонстраційних додатків. Вона також включає модулі (JMCADRTS, JMCADRTC), що забезпечують найкращу продуктивність і управління в реальному часі.

Програмний пакет JMCAD розроблено з використанням мови Java.

Програмний пакет JMCAD реалізує такі режими роботи [6]:

- моделювання: моделювання процесів у безперервних, дискретних і гібридних динамічних системах, включно з обміном даними із зовнішніми додатками й устаткуванням; редагування параметрів моделі в реальному часі; розрахунок і маскування модельних часів; відновлення й відтворення результатів моделювання; динамічне оброблення сигналів [6].

- оптимальні параметри проєктованої системи за наявності обмежень на показники якості та параметри, що підлягають оптимізації в багатокритеріальному формулюванні JMCAD.

- розрахунок і побудова статичних і динамічних характеристик системи, обчислення передавальних функцій, візуалізація результатів статичного і динамічного аналізу.

- синтез дає змогу проектувати регулятори, які: відповідно до бажаних характеристик точності часу, і відповідно до положення домінуючого поля, зазначеного.

- моніторинг і управління дає змогу створювати віртуальні прототипи: панель управління з вимірювальними приладами і контролерами, мнемосхему з мультимедійними та анімаційними ефектами[7].

До переваг JMCAD можна віднести відкритість завдяки використанню мови Java та реалізації декількох механізмів обміну даними із зовнішніми програмами, можливість використання на різних операційних системах (Windows, Linux, Solaris, Unix та ін.), вкладені структури, векторизацію сигналів, блокові стандартні алгоритми для використання мови Java, простоту побудови складних моделей завдяки використанню зручних інструментів для задання параметрів та рівнянь, чисельні методи, що ґрунтуються на ефектах, а також численні навчальні та демонстраційні приклади[8].

Використання елементів JMCAD для моделювання стенду: джерела введення даних, зокрема введення постійних значень і введення даних через COMPort, джерела виведення отриманих результатів (наприклад, запис у файл), візуалізація елементів у графічному вигляді, керування, тобто логіка роботи елементів стенду. Виходи логічного зв'язку і кнопки запуску і зупинки роботи стенду; операції, включно з додаванням, відніманням, діленням, множенням, множенням і логічними операціями розгалуження; функції - тригонометричні функції, які використовуються для опрацювання результатів.

Створення візуальних елементів Усі моделі в JMCAD створюються з візуальних елементів, які визначають достовірність цієї моделі. У JMCAD є низка стандартних елементів. Однак завжди існує об'єктивна потреба в розширенні набору стандартних елементів шляхом додавання нових або модифікації наявних. Для цього в програмному пакеті JMCAD передбачено простий спосіб створення нових елементів[9].

Щоб створити базову структуру візуального елемента, скористайтеся упакуванням усіх базових класів візуальних елементів JMCADObject.

Цей клас містить змінні та методи, необхідні для створення нових візуальних елементів; програмний пакет JMCAD містить алгоритм, який автоматично відображає документацію для кожного елемента та генерує загальну документацію[8].

Подвійне клацання на елементі в режимі редагування моделі відкриває діалогове вікно з кнопкою для відкриття вікна документа 10JMCAD для цього елемента.

Щоб відобразити документацію, у каталозі help має бути файл, що містить документацію щодо цього елемента. Цей файл повинен мати формат подання даних HTML і те саме ім'я, що й клас елемента. Щоб локалізувати документацію, додайте до імені файлу префікс _xx_XX. Де xx означає країну, а XX - мову.

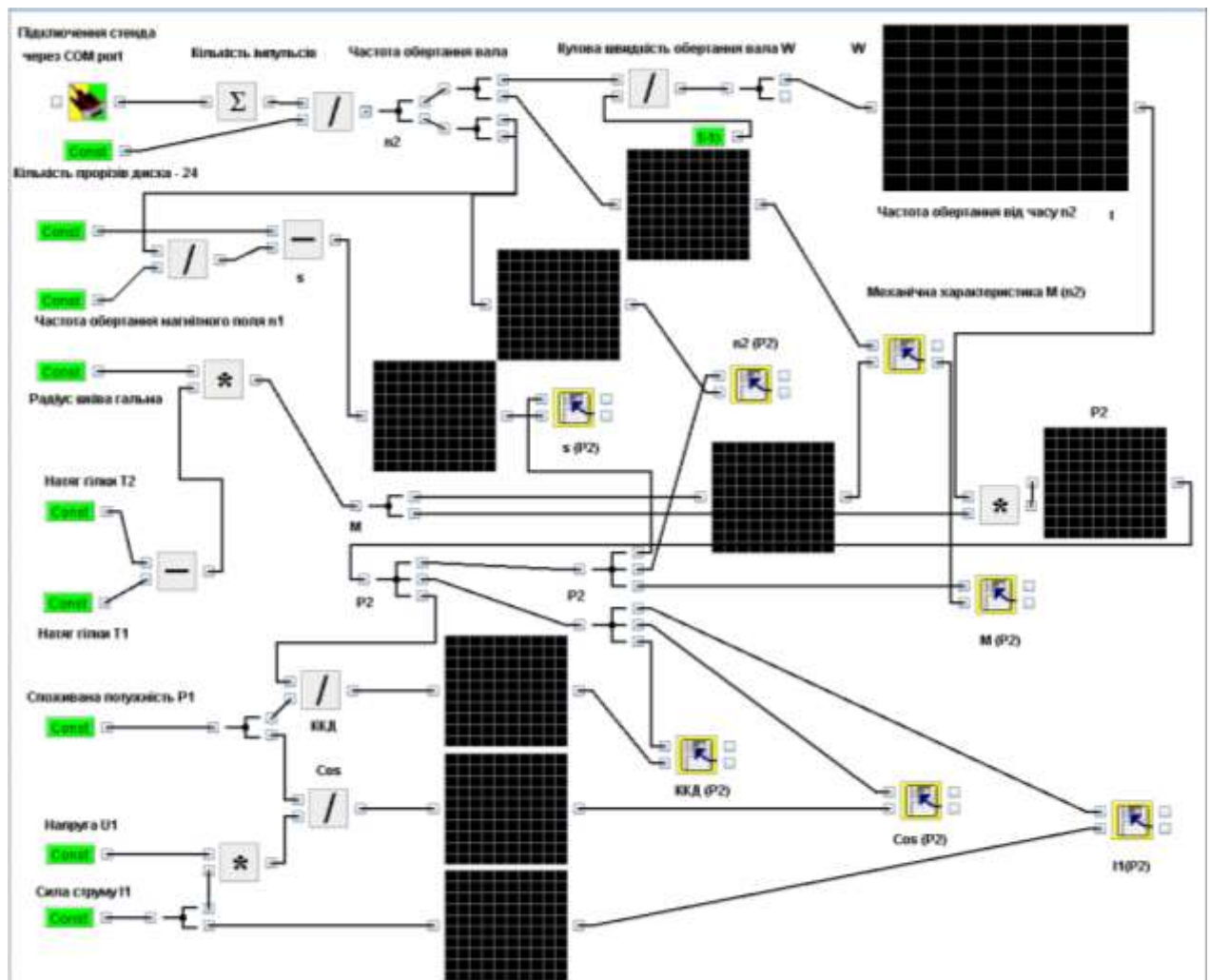


Рисунок 2.13 - Комп'ютерна модель лабораторного стенду для вимірювання характеристик електродвигунів

Для реєстрації вимірювань і аналізу результатів було створено комп'ютерну модель цього випробувального стенду, після чого було побудовано механічні та експлуатаційні характеристики електродвигуна [МРМА 24.00.00.000 Д].

Результати, отримані за допомогою безконтактного датчика «Op-torag», обробляються програмним пакетом JMCAD і будуються відповідні графіки в динамічному режимі роботи.

2.7 Методики проведення робіт та обробка результатів на лабораторному стенді для визначення характеристик електродвигунів

2.7.1 Методики проведення робіт на лабораторному стенді для визначення характеристик електродвигунів

Принцип вимірювання характеристик електродвигуна полягає в такому. Підключіть тестований електродвигун до електромережі відповідно до електричної схеми. Виміряйте струм, напругу і споживану потужність електродвигуна, що тестується, за допомогою амперметра, вольтметра і ватметра.

Для прикладання навантаження до досліджуваного електродвигуна використовується косозуба шестерня і стрічкове гальмо. У результаті навантаження на гальмівну стрічку подається напруга, яку реєструє пружинний динамометр. Натяг пружини динамометра регулюється гвинтом на косозубій шестерні. Пружинний динамометр розрахований на натяг від 0-80 Н.

Використовуйте стробоскоп для вимірювання швидкості обертання вала двигуна. Для цього лампу під'єднують до електромережі через трансформатор, і промінь світла від лампи спрямовують на шків із білою міткою на валу двигуна. Регулюючи зміну напруги на трансформаторі, можна зробити мітки на шківі, що рухається, невидимими для спостерігача і виміряти швидкість обертання вала.

В іншому досліджуваному електродвигуні оптичний датчик, встановлений на рамі стенду, під'єднаний до ПК COMPorta для реєстрації швидкості обертання вала. У проріз оптичного датчика поміщається сегментований диск із 24 прорізами для реєстрації імпульсів обертання вала.

Порядок роботи на стенді для визначення характеристик електродвигуна з пусковою обмоткою.

1. Увімкніть стробоскопічний тахометр і прогрійте його протягом 10-15 хв за вимкненої лампи підсвічування (вимірювальної).

2. Подайте напругу на силовий щит і відрегулюйте напругу на виході до 220 В.

3. Двигун під'єднується до пускової обмотки і випробовується під навантаженням поетапно, починаючи з холостого ходу.

4. Запишіть натяг гілок, швидкість обертання ротора, напругу обмотки статора, струм і потужність у гальмівній системі. Проведіть експеримент із мінімально можливим навантаженням.

5. Запишіть результати вимірювань у таблицю 2.1 і обробіть дані за допомогою прикладного програмного забезпечення, щоб побудувати механічні та експлуатаційні характеристики електродвигуна.

Методи роботи на лабораторному стенді для визначення характеристик конденсаторних двигунів.

1. Підключіть безконтактний датчик Optopara до ПК через COMport для реєстрації швидкості обертання вала двигуна.

2. Встановіть диск із прорізами на шків двигуна.

3. Подати напругу на силовий щит і відрегулюйте напругу на виході до 220 В.

4. Підключіть конденсаторний двигун. Прикладіть до ротора середнє навантаження і спробуйте зробити короткочасний запуск з розімкненим перемикачем В2, тобто з низькою ємністю. Повторіть запуск із замкнутим перемикачем В2, тобто з високою результуючою ємністю. Зверніть увагу на різницю в результатах спроб. Залиште перемикач В2 замкнутим і постійно навантажуйте та тестуйте двигун, як у кроці 5.

5. Запишіть результати вимірювань у таблицю 2.1 і обробіть дані за допомогою прикладної програми, щоб побудувати механічні та експлуатаційні характеристики електродвигуна.

2.7.2 Обробка результатів вимірювань на лабораторному стенді для визначення характеристик електродвигунів

Механічна характеристика, тобто залежність швидкості обертання ротора від моменту, є найважливішою під час оцінки характеристик асинхронних двигунів. Цю характеристику може бути отримано з характеристики , оскільки існує лінійна залежність.

Робочі характеристики асинхронного двигуна - це залежність швидкості обертання, крутного моменту на валу, струму статора, ККД і коефіцієнта потужності від корисної потужності на валу двигуна. Характеристики визначаються експериментально.

У режимі холостого ходу швидкість обертання ротора і частота обертання поля статора залишаються практично незмінними, а ковзання в цьому режимі становить кілька відсотків. Коли двигун навантажений, швидкість обертання зменшується, а ковзання збільшується, досягаючи значень приблизно від 3 до 8 відсотків за номінальної потужності на валу. Використання тахометра для вимірювання швидкості обертання вносить похибки в розрахунок значень ковзання, тому краще використовувати більш точний стробоскопічний метод.

Коли обмотки статора під'єднуються до мережі, по них тече струм, і в статорі утворюється обертове магнітне поле:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} \text{ об/хв}, \quad (2.4)$$

де f_1 - частота струму в обмотках статора, Гц;

p - число пар полюсів обмотки статора.

Польовий магніт індукує електрорушійну силу в закорооченій обмотці ротора, і індукований струм взаємодіє з обертовим магнітним полем статора, змушуючи ротор обертатися зі швидкістю:

$$n_2 = n_1 \cdot (1-s), \quad (2.5)$$

де s - величина ковзання визначається таким чином

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \quad (2.6)$$

Частота струму, що протікає через ротор, залежить від ковзання і числа полюсів двигуна і визначається таким рівнянням:

$$f_2 = \frac{p \cdot n_2}{60} = f_1 \cdot s. \quad (2.7)$$

У результаті взаємодії обертового магнітного поля статора і струму ротора (магнітного поля цього струму) виникає електромагнітний момент. Величина цього моменту визначається основним магнітним потоком і струмом ротора. I_2 :

$$M = C_M \cdot \Phi_1 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2, \quad (2.8)$$

де C_M - постійні коефіцієнти, що визначаються розрахунковими даними електровозбудника,

φ_2 - кут зсуву між е.р.с. і струмом ротора.

Для подолання моменту навантаження необхідний крутний момент. У лабораторії момент навантаження створюється стрічковим гальмом, прикріп-

леним до шківів 1 на валу двигуна (рис. 2.14).

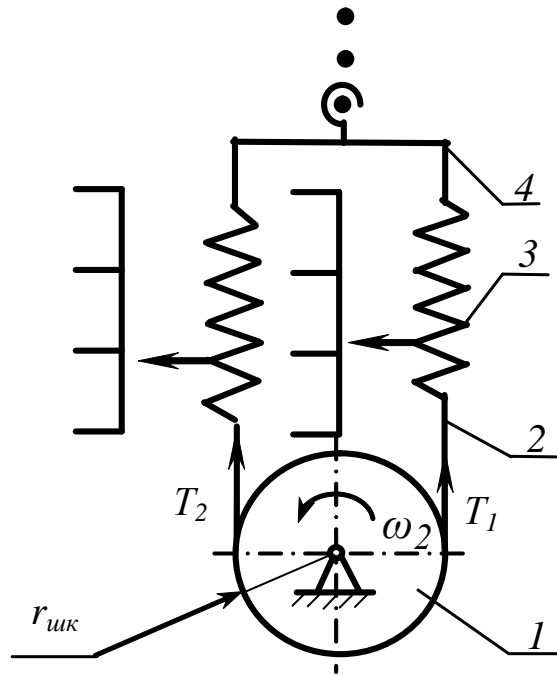


Рисунок 2.14 – Діаграма створення крутного моменту на валах двигуна

Шків 1 охоплюється металевим ременем 2. Натяг ременя і сила тертя між ним і шківом забезпечуються і регулюються пружиною 3, яка піднімається штангою 4. Під час обертання шківів із кутовою швидкістю сила тертя призводить до зміни натягу гілок ременя.

Коли шків обертається з кутовою швидкістю, натяг у гілках ременя змінюється через сили тертя.

Крутний момент на валу двигуна пов'язаний із потужністю в такому співвідношенні:

$$P_2 = M \cdot \omega_2, \quad (2.9)$$

де $\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30}$ - кутова швидкість обертання ротора (1/с),

n_2 - швидкість обертання ротора (об/хв).

Момент опору

$$M_{опору} = M = (T_2 - T_1) \cdot r_{шк}, \quad (2.10)$$

де $r_{шк}$ - радіус шківа 1;

T_2, T_1 - сили натягу гілок стрічкового гальма.

ККД електродвигуна розраховується за такими співвідношеннями

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad (2.11)$$

Коефіцієнт потужності визначається таким рівнянням:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}, \quad (2.12)$$

де P_1 - потужність, споживана обмотками статора двигуна, (Вт);

U_1, I_1 - напруга і струм обмоток статора, (В), (А).

За результатами вимірювань за формулами розраховують крутний момент на валу двигуна, кутову швидкість, корисну потужність, ККД двигуна, коефіцієнт потужності та потужність, яку споживають обмотки статора двигуна, для побудови необхідних експлуатаційних і механічних характеристик двигуна.

Дані, отримані в результаті вимірювань і розрахунків, заносяться в таблицю 2.1 і обробляються в електронних таблицях OpenOffice Excel і графіках.

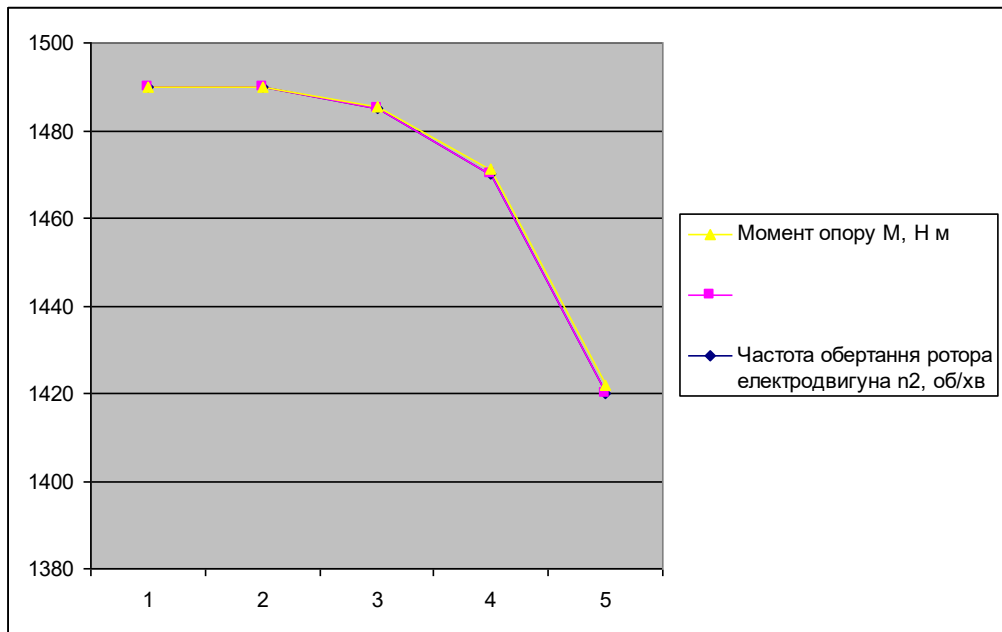
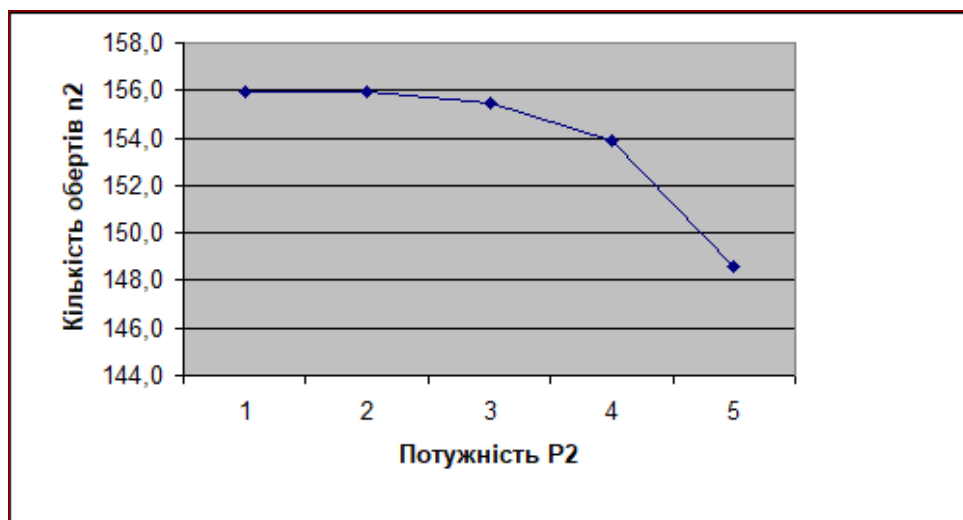


Рисунок 2.15 – Механічна характеристика електродвигуна



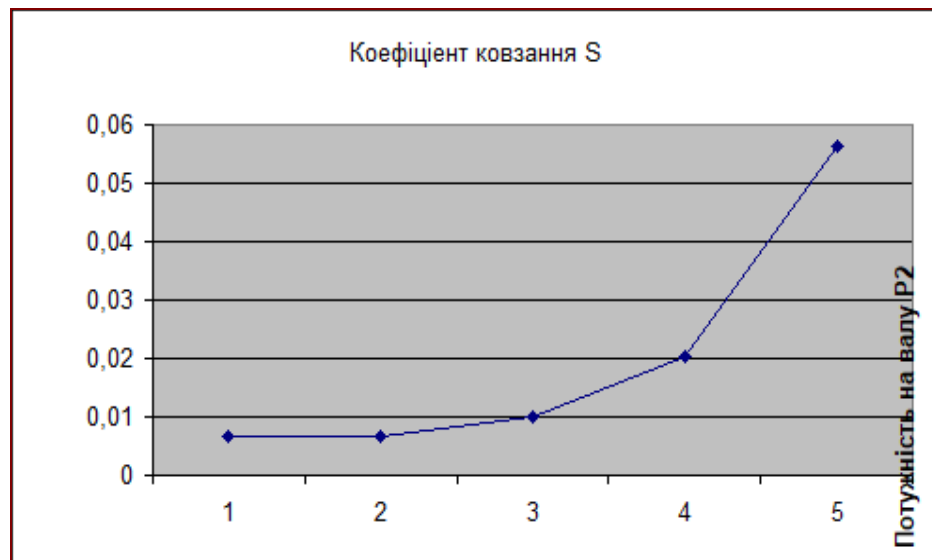
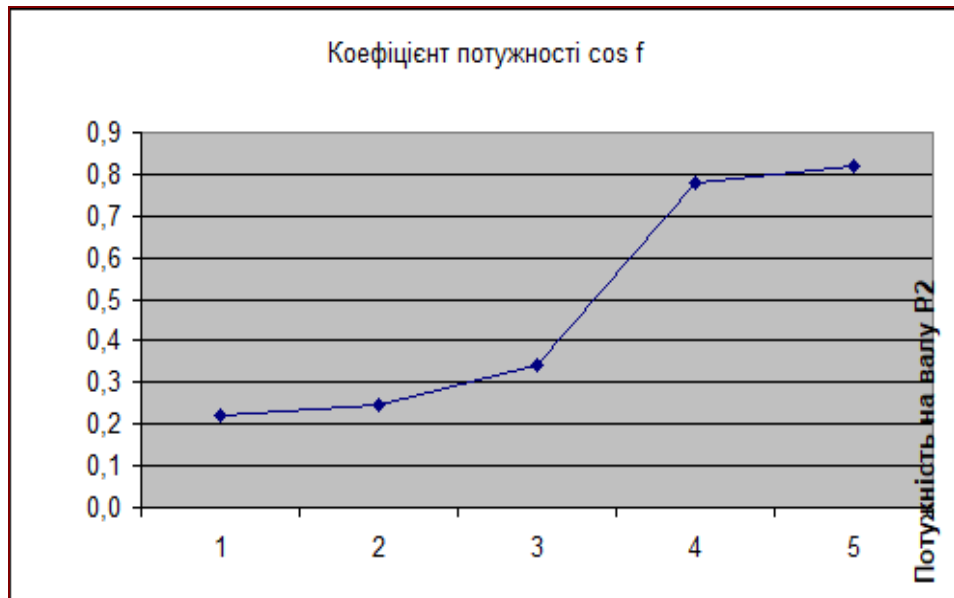


Рисунок 2.16 - Робочі характеристики електродвигуна

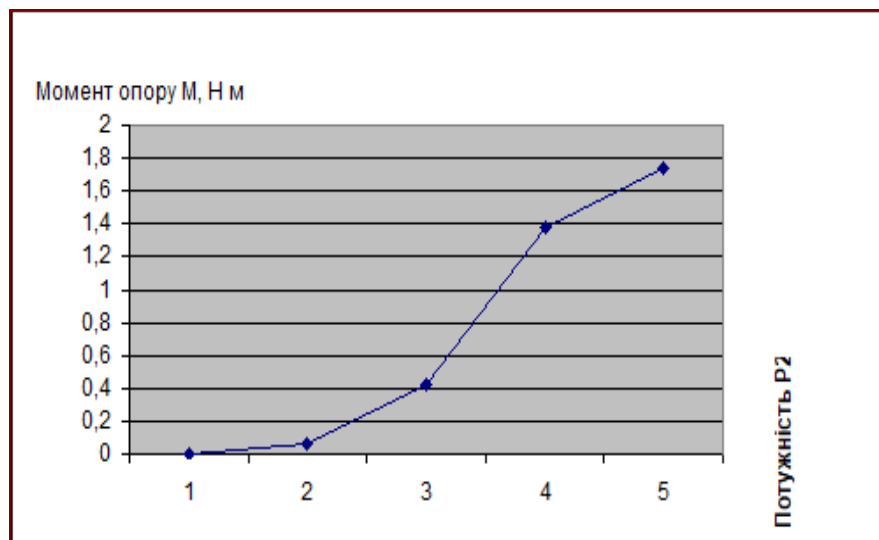
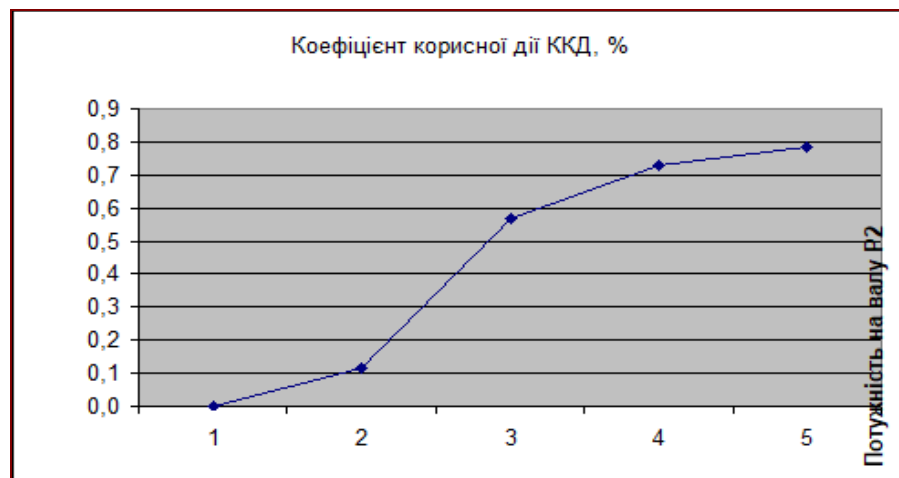


Рисунок 2.17 - Робочі характеристики електродвигуна

Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розроблено конструкцію експериментального стенда для визначення характеристик електродвигуна. Зокрема, було розроблено структурну, кінематичну та електричну схеми випробувального стенда.

Вибір конструктивних елементів лабораторного стенда для визначення характеристик електродвигуна.

Розраховано смугу пропускання ComPort для безконтактного датчика «Орторага». За допомогою програмного пакета JMCAID створено комп'ютерну модель лабораторного стенда для вимірювання характеристик електродвигунів. Показано методику вимірювання характеристик електродвигунів на даному лабораторному стенді та проведено обробку результатів вимірювань за допомогою пакета прикладних програм.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		63

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОДВИГУНА, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ЙОГО ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

Для створення цього стенду необхідно провести відповідні конструкторські розрахунки. Зокрема, вибір рамної конструкції, на яку встановлюватиметься досліджуваний двигун і перевірятиметься на стійкість та міцність; розрахунок мінімального діаметру гальмівного шківів, що використовуватиметься на даному стенді; розрахунок і перевірочні розрахунки гальмівної стрічки і гвинтів, що кріплять її до пружини динамометра; теплові розрахунки роботи пари тертя між шківом та металевою стрічкою; розрахунки косозубої передачі і вибір оптимального діаметру регулювального гвинта.

3.1 Розрахунок стрічкового гальма

Основний коефіцієнт навантаження стрічкового гальма

$$\left. \begin{aligned} M_{опору} &= (F_1 - F_2) \frac{D}{2} \\ F_1 &= F_2 \cdot e^{\alpha f} \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де $F_2 = 0 \dots 0,4$ Н, $F_1 = 0 \dots 3$ Н; $f = 0,8$, α – кут обхвату, $\alpha = 180^\circ$.

Вирішивши ці рівняння разом, ви отримаєте напругу в гілці стрічкового гальма

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{2M_{onopy} e^{\alpha f}}{D \cdot (e^{\alpha f} - 1)} (F_1 - F_2) \\ F_2 &= \frac{2M_{onopy}}{D} \cdot \frac{1}{e^{\alpha f} - 1} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Тиск на ремінь визначається таким рівнянням:

$$p = \frac{2F}{b \cdot D} \quad (3.3)$$

де F - зусилля натягу стрічки; b - ширина стрічки; D - діаметр шківів.

Оскільки стрічка ходового гальма має найбільший натяг, максимальний тиск на стрічку визначається за такою формулою

$$p_{\max} = \frac{2F_1}{b \cdot D} \leq [p] \quad (3.4)$$

Звідси

$$F_1 = \frac{D \cdot b \cdot [p]}{2} = \frac{2M_{onopy} \cdot e^{\alpha f}}{D(e^{\alpha f} - 1)} \quad (3.5)$$

Вважаючи $b = 3D\psi$ (де $\psi = 0,33 \dots 0,5$), можна отримати формулу для мінімального діаметра шківів, яка задовольняє умову, що $p = [p]$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4M_{onopy} \cdot e^{\alpha f}}{[p] \cdot \psi (e^{\alpha f} - 1)}} \quad (3.6)$$

Підставивши це значення в рівняння 3.6, ви отримаєте значення для визначення оптимального діаметра гальмівного шківів

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 30 \cdot e^{180 \cdot 0,1}}{60 \cdot 10^6 \cdot 0,5(e^{180 \cdot 0,1} - 1)}} = 0,0637 \text{ м}$$

Виберіть діаметр для виготовлення гальмівних шківів 60 мм.

Розрахунки гальмівних ременів

Гальмівні стрічки виготовляються відповідно до марки сталі Ст3.

Товщина гальмівної стрічки вибирається залежно від крутного моменту на валу двигуна.

$$\delta = \frac{M_{опору}}{(B - i \cdot d)[\sigma_p]} \quad (3.7)$$

де B - ширина стрічки; i - кількість кріплень на гальмівній стрічці; $i = 2$ шт; d - діаметр кріплень, $d = 3$ мм; $[\sigma_p]$ - допустиме напруження розтягу, $[\sigma_p] = 70$ МПа.

Визначте ширину гальмівної стрічки

$$B = \frac{2F}{D[p]} \quad (3.8)$$

$$B = \frac{2 \cdot 500}{0,06 \cdot 60 \cdot 10^6} = 0,007 \text{ м}$$

$$\delta = \frac{30}{(0,007 - 2 \cdot 0,003)70 \cdot 10^6} = 0,004 \text{ м}$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

66

Випробування гальмівних стрічок на міцність

Розтягувальне напруження в поперечному перерізі стрічки σ_L , МПа, визначаємо за формулою

$$\sigma_L = \frac{F}{2S}, \quad (3.9)$$

де S – площа перерізу стрічки, m^2

$$S = \delta \cdot B - i \cdot \delta \cdot d, \quad (3.10)$$

δ - товщина стрічки, м; i - кількість кріплень на гальмівній стрічці; $i = 2$ шт;
 d - діаметр кріплень, $d = 3$ мм;

$$S = 0,004 \cdot 0,007 - 2 \cdot 0,004 \cdot 0,003 = 1,3 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$\sigma_L = \frac{5}{2 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3}} = 9,6 МПа$$

Максимальна напруга розтягу σ_{max} , МПа,

$$\sigma_{max} = 2 \cdot \sigma_L, \quad (3.11)$$

$$\sigma_{max} = 2 \cdot 9,6 = 19,2 МПа$$

Для сталі 3 напруга цілком прийнятна.

Кінці стрічок закріплені двома подвійними зсувними заклепками. Натяг заклепок на зсув

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

67

$$\sigma_3 = \frac{F}{2 \cdot n \cdot \delta \cdot d}, \quad (3.12)$$

де F – натяг набігаючого кінця однієї стрічки, Н

$$F_{H1} = \frac{F}{2}, \quad (3.13)$$

$$F_{H1} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{5}{2 \cdot 2 \cdot 0,004 \cdot 0,003} = 11,7 \text{ МПа}$$

Отримані результати значно нижчі за допустимі значення.

Тепловий розрахунок гальмівної системи під час роботи.

Коли тестований двигун навантажений, між гальмівною стрічкою і шківом виникають сили тертя, що призводить до підвищення температури в зоні контакту. Таке підвищення температури може призвести до незручностей у роботі, наприклад, до заклинювання гальмівної системи. Щоб цього не сталося, необхідно провести перевірочні розрахунки, щоб запобігти перегріванню пари тертя і визначити оптимальну площу теплообміну з навколишнім середовищем.

Під час роботи потужність нагріву приймається рівною $P_{\text{нагріву}} \approx 180$ Вт.

Далі запишіть рівняння для теплового балансу

$$P_{\text{нагріву}} = \alpha \cdot F \cdot \Delta t \quad (3.14)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

де α - коефіцієнт теплопередачі від металу до навколишнього середовища.,

$\alpha = 10 \frac{Вт}{м^2 К}$; F - необхідна площа теплообміну; Δt - різниця температури

нагрівання поверхонь тертя, $\Delta t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Площу теплообміну визначають із рівняння 3.14 і порівнюють із площею гальмівного шківa діаметром 60 мм і товщиною 15 мм.

$$F = \frac{P_{нагріву}}{\alpha \cdot \Delta t}$$

$$F = \frac{180}{10 \cdot 100} = 0,18 \text{ м}^2.$$

Розроблена площа теплопередачі диска

$$F_{np} = 2 \frac{\pi(D - d_{вн})}{4} + 2\pi D \quad (3.15)$$

$$F_{np} = 2 \frac{3,14(0,006^2 - 0,005^2)}{4} + 2 \cdot 3,14 \cdot 0,006 = 0,24 \text{ м}^2.$$

Це означає, що діаметри шківa і ременя правильні.

3.2 Розрахунок опорної рами стенда на стійкість

Опорна рама, на якій встановлено досліджуваний електродвигун і відповідні вимірювальні прилади, складається з двох опорних рам - швелера 30 і куточка 10, а також збірної плити завширшки 45 мм і завдовжки 300 мм. Опорна рама оснащена стрічковим гальмом. У процесі експлуатації рама зазнає пос-

тійних навантажень, тому необхідно розрахувати стійкість рами і верхньої балки та прогин.

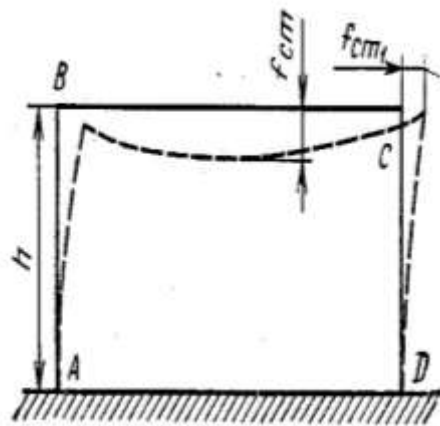


Рисунок 3.1 – Креслення несучої рами машини

Розрахунок опорної рами на вібрацію полягає у визначенні власних частот елементів конструкції та порівнянні їх із частотами сил, що діють.

Під час розрахунку враховується, що жорсткість пояса EI BC більша за жорсткість розкосів AC і CD .

Визначте статичний прогин стійки, обидва кінці якої затиснуті

$$f_{cm} = \frac{P_1 \cdot h^3}{3EI} \quad (3.16)$$

де $P_1 = 0,25m$ - загальна вага рами та підлоги рами на стійку, $P_1 = 2,25H$, h - висота стійки рами, $h = 0,38$ м, EI - момент інерції труби квадратного перерізу

$$h \times h = 25 \times 25 \text{ мм}, E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}, I = \frac{h^4}{12} = \frac{0,025^4}{12} = 3,25 \cdot 10^{-8}$$

$$f_{cm} = \frac{2,25 \cdot 0,38^3}{3 \cdot 3,25 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,00023 \text{ м}$$

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

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

70

Це означає, що прогин конструкції становить 0,2 мм, що є прийнятним у цьому випадку.

3.3. Розрахунок гвинтової передачі гальмівного пристрою

Для забезпечення нормальної роботи гальмівної системи необхідно розрахувати діаметр штока натягувача і перевірити його міцність на розрив.

Подовження стрижня не повинно перевищувати 1 мм.

Визначте переміщення будь-якої ділянки стрижня.

$$\Delta = \Delta l_{cm} = \frac{N_{cp} \cdot l_{cp}}{E \cdot A} = \frac{Fl_{cp}}{E \cdot A} \quad (3.17)$$

де E – модуль пружності, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, A – площа поперечного перерізу, m^2 .

Площу поперечного перерізу стрижня визначають із рівняння 3.17

$$A \geq \frac{Fl_{cp}}{E \cdot [\Delta]} \quad (3.18)$$

$$A = \frac{3 \cdot 0,125}{2 \cdot 10^{11} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 0,078 \cdot 10^{-6} m^2$$

Перевірка міцності

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma] \quad (3.19)$$

де $[\sigma] = 160$ МПа – допустиме напруження.

$$\sigma = \frac{3}{0,078} = 38,4 \text{ МПа}$$

Вимоги до міцності.

3.4 Розрахунок на зріз болтів кріплення гальмівної стрічки до пружинних динамометрів

Визначення зони різання

$$A_{зр} = nk \frac{\pi d^2}{4} \quad (3.20)$$

де n - число елементів (болтів, заклепок), $n = 2$; d - діаметр перерізу елементів, $d = 3$ мм; k - число зрізів одного елемента, $k = 1$.

Запишіть відповідні умови міцності з'єднання

$$\tau = \frac{4F}{nk\pi d^2} \leq [\tau_{зр}] \quad (3.21)$$

$[\tau_{зр}]$ - допустима напруга зсуву при динамічному навантаженні.
 $[\tau_{зр}] = (0,8 \dots 1,2)[\sigma_p]$, де $[\sigma_p]$ - допустима нормальна напруга розтягування матеріалу, $[\sigma_p] = 120$ МПа.

$$\tau = \frac{4 \cdot 3}{2 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot 0,003^2} = 0,6 \text{ МПа}$$

Вимоги до міцності виконуються.

Висновки до розділу 3

У цьому розділі розраховано параметри експериментального стенда та перевірено його працездатність. Зокрема, було розраховано стрічкове гальмо та гвинтову передачу гальмівної системи. Також було проведено перевірочні розрахунки опорної рами експериментального стенда для забезпечення стійкості та конструкції нарізів болтів для кріплення гальмівної стрічки до пружинного динамометра.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		73

Висновки

Вирішення проблем вимірювання потужності та крутного моменту необхідне під час розроблення різних типів двигунів і гальмівних пристроїв, а також під час проектування коробок передач, муфт та інших компонентів транспортних засобів, машин, що обертаються, та агрегатів. Розроблений стенд може бути використаний для обкатки виробів після складання (ремонт) з метою забезпечення співвісності деталей і вузлів, що сполучаються.

Ми розробили лабораторний стенд зі стробоскопами та сучасною оптопарою, яка реєструє швидкість обертання валу двигуна.

Розроблено кінетичні та електричні системи стендів для випробування двигунів.

Для визначення характеристик електродвигуна використовували стандартні та сучасні методи визначення із застосуванням оптопар.

Було розраховано основні конструктивні параметри стенда і підтверджено його працездатність.

Результати, отримані за допомогою безконтактного датчика «Optorag», були оброблені в програмному пакеті JMCAD.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		74

Перелік літературних посилань

1. Безконтактний вимірювач крутного моменту і частоти обертання вала, патент України № 51982 МПК g011 3/12, автори Трегуб М.І., Козирський В.В.
2. Пристрій для вимірювання швидкості обертання вала. Заявка № 2001107119. 15 08 2010, Бюл № 8, 2002 р. Наконечний М.П., Іванченко О.В.
3. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу „Побутові машини та прилади. Воронін Г.Ф., Коротич О.О. Хмельницький. ТУП. 2000. -35с.
4. Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й. Моделювання електромеханічних систем: Підручник. – Кременчук, 1999. – 204 с.
5. Електропривод: підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко [та інш.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: «Ліра-К», 2009. – 504 с.
6. Олійник В.С. Практикум з електропривода / В.С. Олійник, О.С. Марченко, Є.П. Жулай, Ю.М. Лавріненко. – К.: Урожай, 1995. – 190 с.
7. Електропривод: посібник для виконання лабораторних та практичних занять / М.Л. Лисиченко, П.І. Савченко, О.К. Тищенко, В.В. Гузенко. – Х.: ХНТУСГ: Факт, 2012. – 270 с.
8. Назар'ян Г.Н. Технічні характеристики та якісні показники електричних двигунів. Довідниковий посібник / Г.Н. Назар'ян, Ю.М. Федюшко, О.В. Сотник, О.В. Ковальов // – Х: ТОВ «Планета-прінт», 2016. – 201 с.
9. Електродвигуни асинхронні . Каталог. – Х.: «Торговий дім «Helz». 2009. – 44 с. – Режим доступу: www.td-helz.com.ua.
10. Двигуни електричні. Каталог. – Нова Каховка: ВАТ «ПІВДЕНЬЕЛЕКТРОБУД», 2007. - 22 с. Режим доступу: www.td_uemz@ukr.net.
11. Електродвигуни. Каталог. – Нова Каховка: «Підприємство великих

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		75

електричних машин», 2009. – 12 с. – Режим доступу
www.td@electromashina.com

12. Електропривод у питаннях і відповідях / Савченко П. І., Лисиченко М. Л., Тищенко О. К., Гузенко В. В. Харків : ХНТУСГ, 2012. 500 с.

13. Квітка С. О., Постнікова М. В., Речина О. М. Основи електроприводу. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок електричних навантажень та внутрішніх електропроводок» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Мелітополь : ТДАТУ, 2017. 22 с.

14. Електропривод : підручник / Лавріненко Ю. М. та ін. ; за ред. Ю. М. Лавріненка. Київ, 2009. 504 с.

15. Практикум з електропривода / Олійник В. С., Марченко О. С., Жулай Є. П., Лавріненко Ю. М. Київ : Урожай, 1995. 190 с.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		76

Додатки

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		77

