

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка стенду для зняття основних характеристик електродвигунів побутової техніки

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва


Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Спеціалізація «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 22.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТмз-21-1


Підпис

Цмикал С.С.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

проф. Білий Л.А.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Пухови С.І.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС

19 12 2022 р. 

проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

Хмельницький 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МАЕЕС
д.т.н., проф. Поліщук О.Є.
_____. 2022р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Цмикал Сергій Сергійович
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенду для зняття основних характеристик електродвигунів побутової техніки

керівник роботи д.т.н., проф. Білий Л.А.

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

Затверджено наказом ректора університету від 1 07 2022р. № 83

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____
3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики стендів-аналогів, електропобутової техніки та електродвигунів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка конструкції стенда для дослідження колекторних електродвигунів електропобутової техніки. 3. Розробка методики дослідження колекторного двигуна електропобутової техніки. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Схеми керування колекторним двигуном. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Типи аналогово-цифрових перетворювачів. Документ оглядовий (A1). Аркуш 3. Стенд для зняття основних характеристик електродвигуна. Схема структурна (A1). Аркуш 4. Стенд для зняття основних характеристик електродвигуна. Схема електрична (A1). Аркуш 5. Тиристорна схема керування електричним двигуном. Схема електрична принципова (A1). Аркуш 6,7. Стенд для зняття основних характеристик електродвигуна. Складальне креслення (A1). Аркуш 8.

Пірометр для вимірювання температури якоря електродвигуна. Схематична електрична принципова (A1). Аркуш 9. Пристрій для вимірювання струму напруги. Схема електрична (A2)+Датчик швидкості. Схема функціональна (A2).

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 існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	до 02.11.22р.	
2. Розробка конструкції стенда для дослідження колекторних електродвигунів електропобутової техніки	до 21.10.22р.	
3. Розробка методики дослідження колекторного двигуна елек-тропобутової техніки	до 6.12.22р.	
4. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент


Підпис

Керівник роботи


Підпис

С.С. Цмикал
Ініціали, прізвище

Л.А. Білий
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові _____

Цмикал Сергій Сергійович

2. Тема магістерської роботи Розробка стенду для зняття основних характеристик електродвигунів побутової техніки

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

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 9 арк., сторінок записки 86

5. Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка конструкції пресу. 3. Розрахунок електричних параметрів магнітоелектричного двигуна. Висновки. Перелік джерел посилання.

Підпис студента _____

"20" "12" 2022 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від "24" "12" 2022 р.

Оцінка проекту ЕК _____

Рекомендації ЕК _____

поре 4,5/с
повторити проект

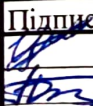



Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____

"24" "12" 2022 р.

ЗМІСТ

		стор.
	Вступ	6
1	Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	8
1.1	Загальні відомості про електричні двигуни	8
1.2	Будова та принцип дії колекторного електричного двигуна	20
1.3	Основні показники, що враховуються при проєктуванні електроприводу	24
1.4	Аналіз засобів безконтактного вимірювання температури	28
1.5	Огляд схем по регулюванню частоти обертання електродвигунів	37
1.6	Задачі, які необхідно вирішити в магістерській роботі	45
1.7	Висновки до розділу	46
2	Розробка конструкції стенда для дослідження колекторних електродвигунів електропобутової техніки	47
2.1	Формулювання завдання і основних принципів конструктивно-схемних рішень	47
2.2	Вибір генератора і електричного двигуна для проектної розробки стенду	49
2.3	Розробка силової частини електричної принципової схеми стенда	50
2.4	Порядок роботи з силовою частиною стенду	51
2.5	Розробка електричної схеми вимірювальної системи стенду	54
2.6	Розробка та розрахунок основних вузлів електричної схеми регулятора з тиристорним керуванням	62

MPMA22.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата
Виконав		Цмикал		
Перевір.		Білий		
Н.контр.		Пундиш І.І.		
Затвер.		Поліщук		
Розробка стенду для зняття основних характеристик електродвигунів побутової техніки				
		Літера	Аркуш	Аркушів
			4	86
ХНУ гр.ЕТМЗ – 21-1				

2.7	Розробка конструкції стенда для дослідження колекторних електродвигунів електропобутової техніки	68
2.8	Технічні характеристики стенду для дослідження колекторних електродвигунів складнопобутової техніки	69
2.9	Висновки до розділу	69
3	Розробка методики дослідження колекторного двигуна електропобутової техніки	70
3.1	Розрахунок механічних характеристик колекторного електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням	70
3.2	Проведення досліджень процесу нагрівання якоря електродвигуна	75
3.3	Порядок виконання роботи	81
3.4	Висновки до розділу	82
	Висновки	83
	Перелік джерел посилання	84
	Додаток А	
	Додаток Б	

ВСТУП

В більшості випадків прості завдання проєктування та дослідження електроприводів побутової техніки мають приблизно наступні формулювання:

- замість застарілого електроприводу існуючої лабораторної установки розробити сучасний, з поліпшеними техніко-економічними показниками;
- замість нерегульованого електричного приводу агрегату використати регульований;
- розробити електропривод будь-якої унікальної установки – випробувального стенду;
- розробити електропривод, яким можна замінити імпортований, не забезпечений запасними елементами.

Всі завдання проєктування не є простими, оскільки можуть бути вирішені різними, в загальному випадку, зовсім не рівноцінними методами, а вибір одного рішення, яке в подальшому реалізуватиметься, повинно бути вирішене на основі ряду критеріїв при обліку системи конкретних обмежень. Розглянемо основні етапи інженерного проєктування та дослідження.

Вибір двигуна – це один із самих відповідальних етапів проєктування приводу, тому що саме електродвигун здійснює електромеханічне перетворення енергії та значною мірою визначає техніко-економічні якості приводу в загальному.

Однією із основних вимог до електричного двигуна є надійність його роботи при мінімумі експлуатаційних витрат і капітальних затрат. Ця вимога може бути задоволена лише при виборі електродвигуна заданої потужності. Використання двигуна більшої потужності спричиняє за собою невиправдане зростання капітальних вкладень, зниження коефіцієнту корисної дії, а для асинхронних електричних двигунів – погіршення коефіцієнта потужності.

					MPMA 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Застосування двигунів малої (недостатньої) потужності призведе до порушення нормальної роботи механізму, виникнення аварій та скорочення нормального терміну експлуатації електродвигуна.

Розробка стенду для випробування та дослідження колекторних електричних двигунів, що застосовуються в електропобутовій техніці в умовах, які максимально наближені до умов їхньої роботи з можливістю аналізу критичних режимів є завданням даної магістерської роботи [1].

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Загальні відомості про електричні двигуни

Принцип дії багатьох пристроїв, машин та механізмів ґрунтується на перетворенні електричної енергії в механічну енергію. Пристрій, який призначений для цієї мети, називають електричним приводом. Електричні двигуни в електромеханічних пристроях є таким приладом. Вони мають певні переваги над іншими типами двигунів, наприклад внутрішнього згорання і паровим:

- вони не потребують для своєї роботи витрат природних ресурсів (води, вугілля, нафти, газу);
- вони не викидають у навколишнє середовище пилу, газу, диму та не забруднюють довкілля;
- вони простіші в обслуговуванні й ремонті;
- їх можна монтувати без складних підготовчих операцій та не використовуючи при цьому спеціального обладнання.

Залежно від принципу дії, будови та призначення електричні двигуни класифікують:

- за джерелом струму, що споживається (змінного чи постійного, однофазного чи трьохфазного);
- за потужністю (велика або мала).

За умовами використання електродвигуни бувають:

- спеціального призначення;
- універсального призначення.

					MPMA 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Електродвигун є пристроєм, який служить для перетворення електричної енергії в механічну та приведення до руху механізмів та машин. Він є обов'язковим та головним (але не єдиним) елементом електричного приводу.

Перші електричні двигуни були сконструйовані ще у першій половині XIX століття, а з кінця того ж століття почали набувати все більшого розповсюдження в світі. Сучасна промисловість, комунальне господарство, транспорт, побут вже неможливо представити без електричних двигунів [2].

Переважна більшість електричних двигунів є двигунами з обертальним рухом (рис.1.1).

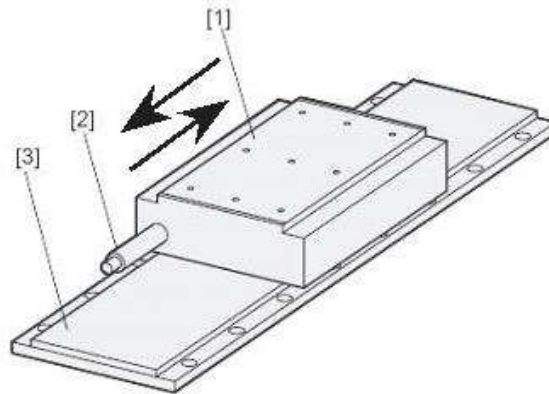


Рисунок 1.1 - Електродвигуни обертального руху

Електродвигуни складаються з нерухомої частини, яка називається статором та рухомої частини, яка називається ротором. Ротор починає обертатися після подачі живлення до обмоток електричного двигуна. Проте для деяких механізмів, які здійснюють поступальний чи зворотно-поступальний рух (наприклад деякі транспортні засоби, супорти та столи металорізальних верстатів), з метою спрощення конструкції механічної частини самого електричного приводу іноді застосовують лінійні електродвигуни. Рухомі частини такого типу двигунів (вторинний елемент або бігун) здійснює лінійне переміщення (рис.1.2) [2].

В залежності від роду електричного струму, що застосовують для живлення електричних двигунів, розрізняють: двигуни постійного струму;

-двигуни змінного струму.



1 – статор, 2 – підведення живлення, 3 – бігун

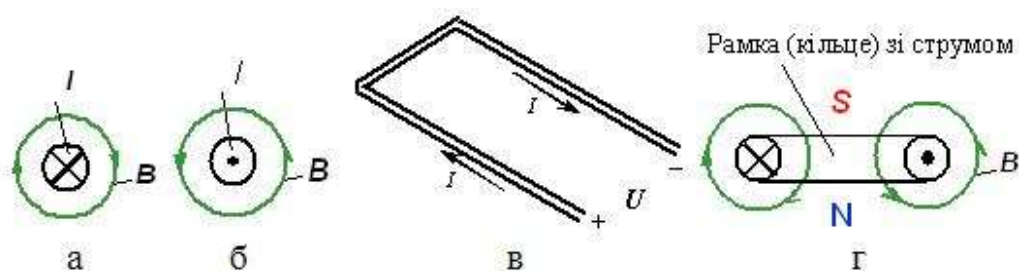
Рисунок 1.2 - Лінійний електричний двигун:

Принцип дії електричного двигуна базується на взаємодії магнітних полів. Відомо, що якщо наблизити один магніт до іншого, то їхні різнойменні полюси будуть притягуватися один до одного, а однойменні полюси будуть відштовхуватися. В електродвигуні роль принаймні одного з магнітів грає котушка зі струмом (тобто електромагніт). Відомо, що протікання по провіднику електричного струму викликає появу магнітного поля навколо провідника (рис.1.3). Це поле має коаксіальний характер, а напрямок його магнітних силових ліній визначається за «правилом гвинта». Згідно з цим правилом, якщо гвинт закручувати в провідник так, щоб напрям поступального руху гвинта збігався з напрямком струму, то напрям обертання гвинта показуватиме напрямок магнітних силових ліній поля (рис.1.3) [2].



Рисунок 1.3 - Виникнення магнітного поля навколо провідника зі струмом

На рис.1.4 представлений поперечний переріз провідника. Всередині перерізу умовно показаний напрямок струму: хрест («хвіст» стрілки струму) – струм від спостерігача (рис.4, а), точка («вістря» стрілки струму) – струм на спостерігача (рис.4, б). З рис.4, в, г витікає, що магнітне поле замкнутої рамки (кільця) зі струмом подібне до магнітного поля постійного магніту (із північного полюса силові лінії виходять та входять до південного). Таким чином, рамка зі струмом представляє собою елементарний електромагніт.



а – струм від спостерігача, б – струм на спостерігача, в – рамка зі струмом, г – силові лінії рамки (кільця) зі струмом

Рисунок 1.4 - Магнітні силові лінії провідників зі струмом:

Електродвигуни змінного струму.

До електричних двигунів змінного струму належать асинхронні, синхронні, крокові (різновид синхронних) двигуни. В загальному їх об'єднує те, що через їхні обмотки протікають знакозмінні струми, а від джерел знакозмінної напруги вони живляться.

Статор електричного двигуна змінного струму представляє собою магнітопровід (осердя) з тонких листів електротехнічної сталі, в якому виготовлено отвори (пази) для розміщення самої обмотки. Фрагмент магнітопроводу статора електричного двигуна представлено на рис.1.5. Обмотка складається з окремих секцій (рамок, котушок). Всередині статора на підшипниках розміщений ротор, що спроможний вільно обертатися відносно своєї вісі [2].



Рисунок 1.5 - Магнітопровід статора електричного двигуна змінного струму

Поперечний переріз статора та ротора схематично показано на рис.1.6. Провідники елементарної котушки обмотки розташовані на протилежних боках статора в двох пазах. Така котушка виглядає так, як показано на рис.4, в, і до неї можна подати напругу від стороннього джерела з тією чи іншою полярністю (як на рис.4, в). Постійний магніт розміщений на роторі (полюси N_r та S_r). Якщо на обмотки статора подати постійний струм такого напрямку, як показано на рис.6, а, то виникне магнітне поле статора з полюсами N_s та S_s . Ротор повертається за годинниковою стрілкою, щоб сумістити протилежні полюси полів ротора та статора (остаточне положення ротора представлено штриховою лінією). Якщо полярність струму статора протилежна (рис.6, б), то полюси статора поміняються місцями, а ротор буде повертатися у протилежну сторону [2].

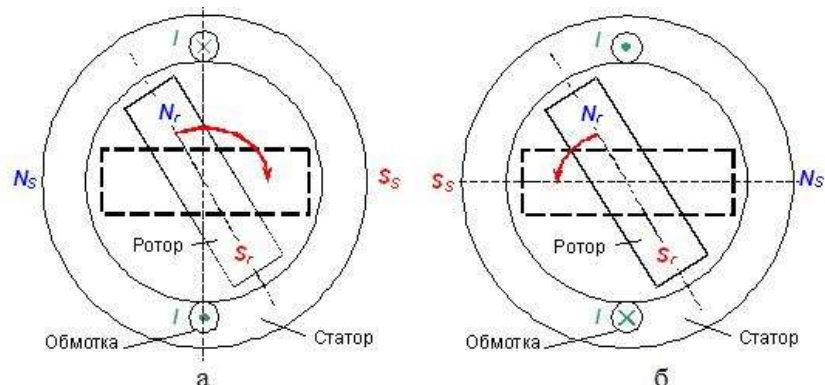


Рисунок 1.6 - Взаємодія магнітних полів статора та ротора

Щоб забезпечити безперервне обертання ротора, то на статорі розміщують декілька окремих обмоток, що живляться від окремих джерел. На рис.1.7 представлений поперечний переріз електричного двигуна з трьома обмотками статора (червона А, синя В, зелена С). Такий двигун називають трьохфазним, а його обмотки називають фазними. Обмотки представляють собою елементарні рамки з провідника (як на рис.4, в), зсунуті в просторі на 120° одна від іншої. На рис.1.7 струм протікає лише обмотками зі значками точки та хрестика [2].

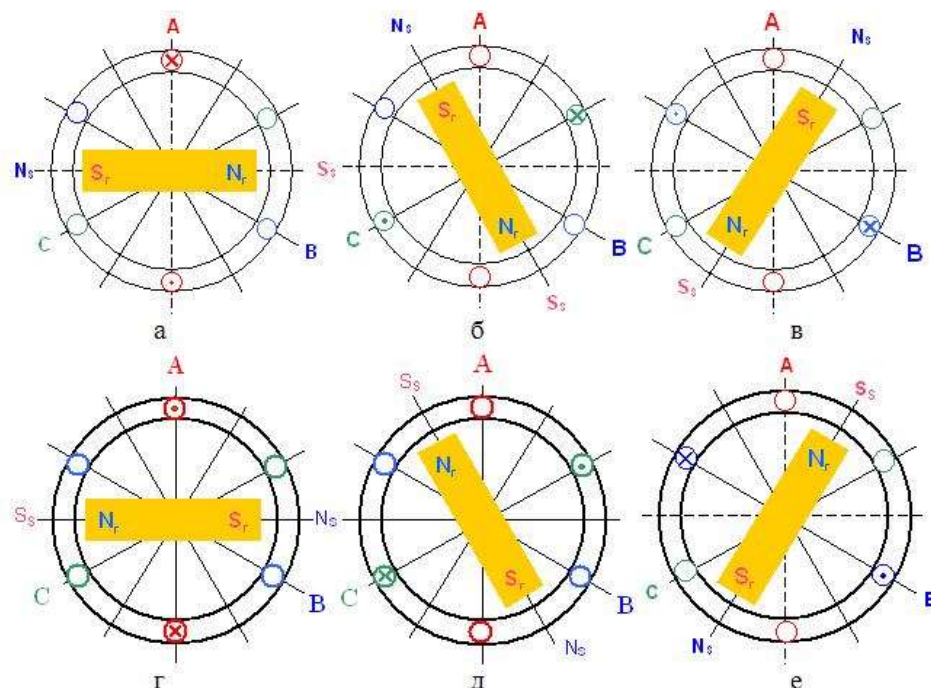


Рисунок 1.7 - Принцип дії синхронного трьохфазного електродвигуна

Якщо подати струм до обмотки А так, як це показано на рис.1.7, а, то магнітна вісь поля статора стане горизонтальною, а південний полюс поля ротора після його повороту співпаде з північним полюсом поля статора. Протікання струму обмоткою С призводить до повороту магнітної вісі статора (а за ним – ротора) на 60° за годинниковою стрілкою (рис.1.7, б). В подальшому струм подається до обмотки В (рис.1.7, в). Після цього струм протікає обмот-

ками А, С, В, але у протилежному напрямку (необхідно порівняти рис.1.7, а та 1.7, г, 1.7, б та 1.7, д, 1.7, в та 1.7, е). Магнітна вісь статора, а за нею – і ротор кожного разу повертаються на наступні 60° . Якщо після чергового перемикавання струму в обмотках продовжити протікання струму в останній обмотці, ротор буде залишатися нерухомим. Саме таким є принцип дії крокового електричного двигуна. Такі двигуни застосовуються для дозованого повороту валу механізму на заданий кут (наприклад, в електромеханічних годинниках чи принтерах). Змінити напрямок обертання ротора можна, змінивши порядок під'єднання обмоток до позитивного полюсу джерела (А-С-В замість А-В-С).

Подаючи змінно струм до фазних обмоток (рис.1.8), можна зробити обертання ротора безперервним [2].

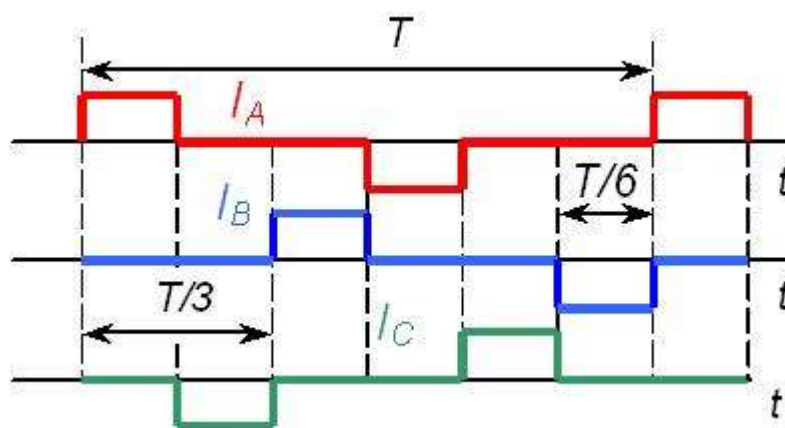


Рисунок 1.8 - Зміна у часі струмів обмоток статора крокового двигуна

Струми I_A , I_B , I_C фазних обмоток зсунуті в часі один від одного на третину періоду T . Швидкість обертання ротора можна регулювати змінюючи період перемикавання струму в обмотках. Для зміни рушійного моменту електричного двигуна потрібно змінити величину струму обмоток статора або індукцію магнітного поля ротора (якщо на роторі замість постійних магнітів встановлена обмотка збудження, тобто електричний магніт).

У трьохфазному кроковому електричному двигуні магнітне поле статора може займати в просторі лише 6 положень (рис.1.7), а переміщатися між ними стрибками. Внаслідок такого явища виникають пульсації рушійного моменту електродвигуна, а рівномірне обертання ротора дуже складно забезпечити. Якщо струми фазних обмоток змінювати не ступінчасто, як показано на рис.1.8, а за законом синуса зі зсувом на третину періоду (рис.1.9), то поле статора буде обертатися плавно (так зване обертове магнітне поле). Ротор за певний проміжок часу наздожене поле статора і надалі буде обертатися синхронно з ним. Саме ось в такому режимі працюють синхронні двигуни [2].

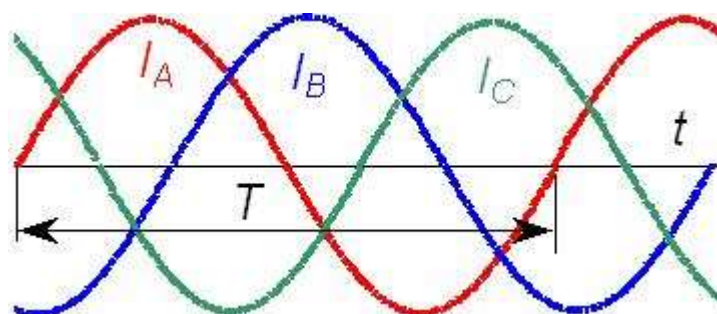
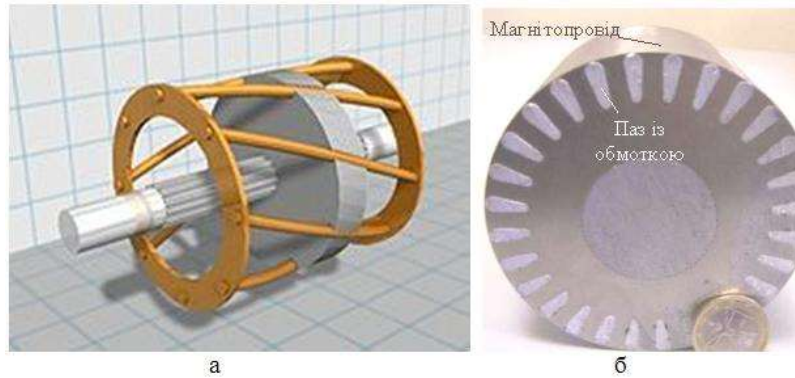


Рисунок 1.9 - Фазні струми синхронного двигуна

Асинхронний електричний двигун має такий самий статор, як і синхронний, а обмотками самого статора також протікають синусоїдальні струми (див. рис.1.9). Проте конструкція ротора двигуна особлива (рис.1.10). Ротор набирається із листів електротехнічної сталі (як і статор). В пазах ротора вкладено стержні (алюмінієві чи мідні), які на торцях ротора замкнуті за допомогою спеціальних кілець. Якщо ротор буде обертатися зі швидкістю, меншою за швидкість поля статора, в обмотці ротора полем статора буде наводитися електрорушійна сила, яка спричиняє протікання обмоткою ротора струмів. Струми викликають появу магнітного поля ротора двигуна, а взаємодія двох полів викликає створення рушійного моменту, який повертає ротор [2].



а – короткозамкнута обмотка, б – поперечний переріз ротора

Рисунок 1.10 - Ротор асинхронного електричного двигуна:

Поскільки рушійний момент виникає лише тоді, коли швидкості ротора та поля статора не є однаковими, ротор не може рухатися синхронно з полем статора (звідси і назва електродвигуна: асинхронний, тобто «несинхронний»). Завдяки простій конструкції, дешевизні та надійності асинхронні електричні двигуни набули найбільшого розповсюдження [2].

Конструкція асинхронного двигуна приведена на рис.1.11, 1.12 [2].



Рисунок 1.11 - Асинхронний двигун (розрізано)

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.12 - Асинхронний електричний двигун у розібраному вигляді

Електричний двигун постійного струму.

Електричний двигун постійного струму, на відміну від електричних двигунів змінного струму, живиться від джерела постійного струму. Магнітне поле статора створюється постійними нерухомими магнітами, а на роторі (якорі) розташовується обмотка. Якір жорстко поєднаний з валом і може обертатися навколо своєї вісі. Таким чином, конструктивно електричний двигун постійного струму є обернутою синхронною машиною.

Принцип дії електричного двигуна постійного струму ілюструє рис.1.13. Поле статора двигуна створюють постійні магніти або електромагніти (обмотки збудження). На феромагнітному осерді якоря розміщена обмотка, що складається із двох послідовно ввімкнених частин (їх поєднує показаний пунктиром провідник). Також на якорі розташовані ізольовані одна від одної колекторні пластини, до яких під'єднані кінці обмотки якоря. Через нерухомі графітні щітки до колекторних пластин від джерела живлення подається електричний струм. Якщо верхню щітку під'єднати до додатнього полюсу джерела живлення, а нижню під'єднати до від'ємного, обмоткою якоря протікатиме струм I як показано на рис.1.13. Використовуючи правило гвинта лівий полюс якоря стане північним, а правий – південним. Полюси статора та якоря будуть відштовхуватися один від одного, викликаючи пово-

рот якоря за годинниковою стрілкою. Якір, повертаючись, за інерцією «про-скакує» положення «північний полюс навпроти південного», і під щітками опиняться інші колекторні пластини. Напрямок струму в обмотці якоря зміниться на протилежний, полюси якоря поміняються місцями, і обертання якоря продовжиться. Для зміни напрямку обертання якоря потрібно змінити полярність напруги, що подана на щітки.

Конструкцію, подібну до приведеної на рис.1.13, мають малопотужні електричні двигуни (наприклад, у дитячих іграшках).

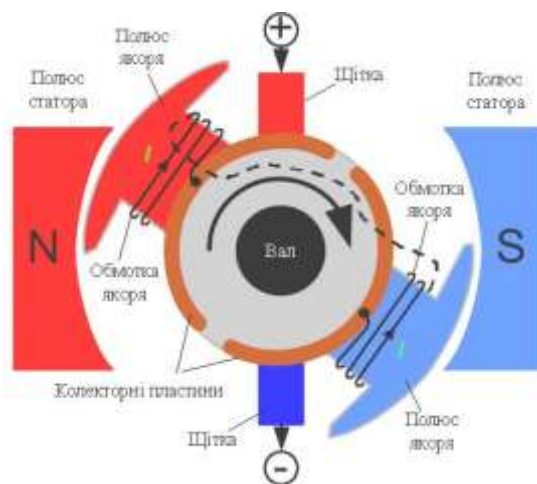


Рисунок 1.13 - До принципу дії електричного двигуна постійного струму

В промислових електричних двигунах для забезпечення плавності руху якір має багато окремих секцій обмотки, поєднаних з окремими парами колекторних пластин (щось подібно, як показано на рис.1.14). Під час обертання якоря через пару щіток до джерела під'єднується кожного разу наступна секція якоря, яка за даного положення якоря має найбільший магнітний зв'язок з полем статора.



Рисунок 1.14 - Якір електричного двигуна постійного струму

В електричному приводі виникає задача автоматичного управління електричними двигунами. В найпростіших випадках достатньо лише забезпечити їхній запуск, зупинку, зміну напрямку обертання та захист від аварійних режимів. Подібні функції легко реалізуються за допомогою відносно дешевих та простих електромеханічних контакторів та реле. Проте часто є необхідність в плавному регулюванні швидкості обертання та рушійного моменту. Тоді для живлення електричних двигунів застосовують керовані джерела живлення. Це можуть бути напівпровідникові перетворювачі енергії (керовані випрямлячі для електродвигунів постійного струму та перетворювачі частоти для електродвигунів змінного струму) та достатньо складні системи автоматичного регулювання. Електричні приводи, в склад яких, крім електродвигуна, входять керовані перетворювачі енергії та системи автоматичного керування, здатні за мінімальної участі людини виконувати виробничу задачу. Вони отримали назву автоматизованих електроприводів.

1.2 Будова та принцип дії колекторного електричного двигуна

1.2.1 Основні відомості

Великого розповсюдження набуло використання універсальних колекторних електричних двигунів (рис.1.15). Універсальними такі двигуни називають тому, що вони можуть працювати як від мережі змінного, так і від мережі постійного струму. Вони дають можливість також плавно змінювати швидкість обертання приводу - його валу, який приводить виконавчий механізм в рух. Цього вимагає, наприклад, електропривід електродриля, швейної машини, шуруповерта, побутової техніки якими, за потреби, можна змінювати швидкість виконання робіт. За допомогою них приводяться в рух механізми тролейбусів і трамваїв, локомотивів і електротранспортерів [3, 4].



Рисунок 1.15 – Використання колекторних електричних двигунів

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Їх називають колекторними тому, що вони містять спеціальний пристрій, що призначений для підведення електричного струму до рухомих та нерухомих елементів електричного приводу.

1.2.2 Будова та принцип роботи колекторного електродвигуна

В основі роботи колекторних електричних двигунів лежить фізичне явище - втягування або виштовхування провідника з електричним струмом у магнітному полі. Щоб безперервно провідник зі струмом рухався між полюсами магніту, йому надають форми рамки, на обидва боки якої магніт діятиме одночасно, але в протилежних напрямках: один бік рамки втягуватиме, а другий бік рамки виштовхуватиме (рис.1.16) [3, 4].

Через півоберта рамка зупиниться. А щоб і далі вона оберталась у тому самому напрямку, у цей момент потрібно змінити напрямок струму в рамці, тобто поміняти місцями кінці провідів, що підводять струм від джерела живлення (рис.1.17).

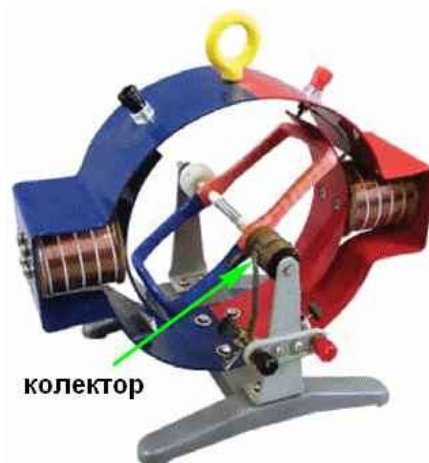


Рисунок 1.16 – Будова колекторного електричного двигуна

Для автоматичної зміни напрямку струму в рамці встановлений спеціальний перемикач – колектор.

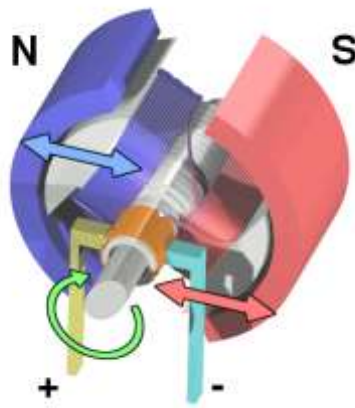
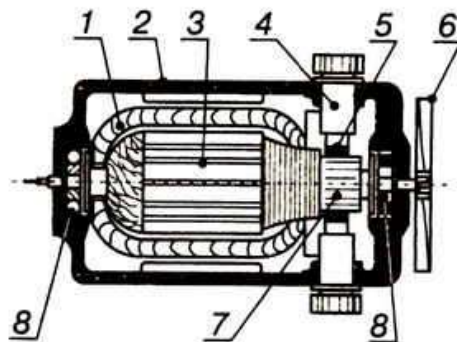


Рисунок 1.17 – Принцип дії колекторного електричного двигуна

В даному випадку він виготовлений із двох латунних напівкруглих пластин (рис.1.18). До пластин притиснуті графітові ковзні контакти (щітки), через які до рамки електричний струм надходить.



1 – обмотка статора; 2 – статор; 3 – якор (ротор); 4 – корпус колекторних щіток із пружинами; 5 – колекторні щітки; 6 – вентиляторна крильчатка;
7 – колектор; 8 - підшипники

Рисунок 1.18 – Схема колекторного двигуна:

В промислових колекторних електричних двигунах рамку із проводів намотують у пази, що вирізані в залізному осерді. Залізо, в свою чергу, підсилює магнітне поле, яке діє на рамку. Ту частину електричного двигуна, де намотані рамки, називають якорем, або ротором. Поскільки обмоток на якорі декілька, то і колектор складається із багатьох ізольованих одна від одної та від вала електродвигуна латунних пластин. Колектор жорстко закріплюється на валу якоря. До колектора за допомогою пружин притискуються графітові щітки. Графіт для щіток і латунь для колектора вибрані тому, що під час обертання ротора ці матеріали мало стираються, а отже мають довший термін експлуатації [3, 4].

Під час роботи електричного двигуна рух якоря передається валу, а з нього - безпосередньо робочим органам навантаження.

Охолодження електричного двигуна забезпечує вентилятор, крильчатка якого закріплена на валу.

Зовнішній вигляд колекторного електродвигуна може бути різним. Наприклад ось таким, як показано на рис.1.19 [3, 4].



Рисунок 1.19 – Зовнішній вигляд колекторного електродвигуна

1.2.3 Технічні характеристики колекторного електродвигуна

Крім інструкції, кожен пристрій має власний паспорт. В ньому зазначаються наступні технічні характеристики:

- значення робочої напруги, на яку розрахований пристрій;
- величина потужності, що ним споживається;
- швидкість обертання валу електричного двигуна,
- рік випуску;
- підприємство-виробник та інші дані.

Зазначений паспорт кріпиться у вигляді таблички на корпусі приладу.

1.3 Основні показники, що враховуються при проєктуванні електроприводу

1.3.1 Нагрівання при навантаженні

Навантаження на електричний двигун при тривалій його дії обмежується нагріванням, а при короткочасній – його перевантажувальною здатністю. Перевантажувальна здатність є відношенням максимального моменту, який здатний розвинути електричний двигун хоч би короткочасно, до його номінального моменту $\lambda = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$. Обмеження по нагріванню електричних

двигунів визначається теплостійкістю їхньої ізоляції. Нагрівання ізоляції вище за граничні значення є недопустимим, оскільки викликає скорочення терміну експлуатації електричної машини. Граничні температури обмоток електродвигунів з різними класами ізоляції відповідають номінальному навантаженню електричних двигунів і температурі навколишнього середовища $+40^{\circ}\text{C}$. Якщо дійсне значення температури $t_{\text{окр}} < +40^{\circ}\text{C}$, то електродвигун без

					MPMA 22.00.00.000 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

небезпеки перегрівання може бути навантажений дещо вище за номінальне навантаження; при $t_{окр} > +40C$ навантаження електричного двигуна повинне бути зменшене порівняно з номінальним [5-13].

При виборі потужності електричного двигуна основними початковими даними є потрібні моменти, які повинні бути прикладені до валу механізму, потрібні швидкості і прискорення робочого органу механізму. Дані величини повинні бути відомими з вимог технологічного процесу.

Завдання вибору потужності електродвигуна ускладнюється тим, що в динамічному режимі момент, що розвивається електричним двигуном, не є рівним моменту статичного навантаження, а різниця це динамічний момент

$J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}$, що залежить від сумарного моменту інерції приводу, в який входить і

момент інерції електричного двигуна. В зв'язку з цим в тих випадках, коли динамічні режими відіграють значну роль, завдання вирішується в два етапи:

- попередній вибір електричного двигуна;
- його перевірка по перевантажувальній здатності і по нагріванню.

В окремому випадку, коли електродвигун працює переважно в стабільних (сталих) режимах ($M = M_c$), вибір двигуна може бути проведений безпосередньо по необхідних M_c і ω .

1.3.2 Діаграми навантажень механізму і електродвигуна

Початкові дані для вибору електричного двигуна, як правило, представляються у вигляді діаграм навантажень механізму, тобто залежності $M_c(t)$, $\alpha(t)$ і приведенного моменту інерції J_m' . Залежність $\alpha(t)$ в деяких випадках називають тахограмою. Іноді $M_c(t)$ залежить від шляху, в такому випадку при

відомій швидкості можна перебудувати заданий графік $M_c(\varphi)$ та отримати його у вигляді $M_c(t)$.

Діаграми навантажень механізму, можуть мати різноманітний вигляд. Але можна завжди виділити цикл, тобто проміжок часу t_{cy} , через який діаграма буде повторюватися. Якщо характер роботи такий, що погано відтворюються режими, то в таких випадках будують діаграми навантажень для найбільш важкого або найбільш вірогідного циклу.

Слід підкреслити, що для обґрунтованого вибору електричного двигуна має бути відома необхідна діаграма навантаження механізму [5-13].

1.3.3 Тепловий режим двигуна

У тепловому відношенні електрична машина – представляє собою складний об'єкт, тому що:

- вона неоднорідною за матеріалом;
- має розосереджене внутрішнє джерело тепла, інтенсивність якого залежить від режиму;
- тепловіддача у ній залежить від швидкості і т.п.

Саме ця складність спонукає користуватися на практиці простою моделлю, побудованою на припущенні, що машина – однорідне тіло з постійною теплоємністю C , Дж/С[°], з однаковою температурою в усіх точках, з тепловіддачею в навколишнє середовище A , пропорційною коефіцієнту тепловіддачі A , Дж/с · °С, і різниці температури машини і зовнішнього середовища.

Якщо відома діаграма навантаження електричного двигуна і його теплові параметри, то можна побудувати графік (t) і, оцінивши дійсне перегрівання, порівняти його з допустимим. Цей шлях вельми громіздкий, у зв'язку з чим на практиці використовують спрощені прийоми, засновані на непрямій

оцінці перегрівання. У основі цих прийомів лежить метод середніх втрат [5-13].

Якщо при зіставленні середніх втрат ΔP_{cp} за цикл з номінальними втратами ΔP_n станеться, що $\Delta P_{cp} > \Delta P_n$, то двигун буде перегріватися, що є неприпустим. Навпаки, при $P_{cp} \ll P_n$ електродвигун буде погано використаний по нагріванні. У обох випадках потрібно вибрати інший двигун, перебудувати діаграму навантаження і знову перевірити двигун по нагріванню шляхом зіставлення середніх втрат при змінному графіку навантаження з номінальними втратами при їх постійному навантаженні.

Метод середніх втрат вимагає знання кривої ККД двигуна у функції його навантаження і попереднього визначення втрат на кожній з ділянок графіка, що вносить деякі ускладнення в сам розрахунок. Якщо у розпорядженні проєктанта в результаті побудови діаграми навантаження є криві струму у функції часу, то за деяких умов можна провести перевірку електродвигуна по нагріву без обрахування втрат, скориставшись методом еквівалентного струму [5-13].

Метод еквівалентного струму, як і метод середніх втрат, заснований на припущенні близькості середнього за цикл і максимального перегрівів. Крім того, метод еквівалентного струму виходить з припущення незалежності втрат в сталі і механічних від навантаження і допускає постійність величини опору головному колу двигуна на всіх ділянках заданого графіка навантаження.

У ряді випадків при проведенні перевірки двигуна по нагріванню зручно користуватися графіком моменту, який розвивається двигуном, у функції часу. Якщо потік двигуна при цьому постійний, то між моментом і струмом буде пряма пропорційність ($M = cI$).

Отже для встановлення теплових режимів електричних двигунів експериментальне їх визначення дає самий достовірний результат. Якщо для асин-

хронних електродвигунів ця задача вирішується дуже просто (статор нерухомих), то для дослідження колекторних двигунів необхідно використовувати безконтактне вимірювання температури рухомих об'єктів [5-13].

1.4 Аналіз засобів безконтактного вимірювання температури

1.4.1 Основні поняття і закони випромінювання

На підставі вимірювання параметрів теплового випромінювання, що є електромагнітними хвилями різної довжини можна судити про температуру нагрітого тіла. Чим вища температура тіла, тим більше воно випромінює енергії.

Термометри, принцип дії яких заснований на вимірюванні теплового випромінювання, називають пірометрами. Пірометри дозволяють контролювати температуру від 100 до 6000 °С і вище. Однією з головних переваг таких пристроїв є відсутність впливу вимірювача на температурне поле нагрітого тіла, оскільки в процесі проведення дослідження вони не вступають в безпосередній контакт один з одним. Тому дані методи вимірювань отримали назву безконтактних [14-16].

На підставі різних законів випромінювання були розроблені пірометри наступних типів:

- пірометри сумарного випромінювання (ПСВ). Ними вимірюється повна енергія випромінювання;
- пірометри часткового випромінювання (ПЧВ). Ними вимірюється енергія в обмеженому приймачем або фільтром ділянки спектру;
- пірометри спектрального відношення (ПСВ). Ними вимірюється відношення енергії фіксованих ділянок спектру.

В залежності від типу пірометра розрізняються наступні типи температури: яскравісна, радіаційна, колірна.

Температурою яскравості реального тіла T_j називається температура, при якій щільність потоку спектрального випромінювання АЧТ дорівнює щільності потоку спектрального випромінювань реального тіла для тієї ж довжини хвилі (чи вузького інтервалу спектру) при дійсній температурі T_0 .

Радіаційною температурою реального тіла T_p називається температура, при якій повна потужність АЧТ рівна повній енергії випромінювань даного тіла при дійсній температурі T_0 .

Колірною температурою реального тіла T_c називається температура, при якій відносини щільності потоків випромінювання АЧТ для двох довжин хвиль λ_1 і λ_2 рівно відношенню щільності потоків випромінювання реального тіла для тих же довжин хвиль при дійсній температурі T_0 .

Пірометри часткового випромінювання.

До такого типу пірометрів, що можуть вимірювати температуру яскравості об'єкту, можна віднести монохроматичні оптичні і фотоелектричні пірометри, що вимірюють енергію потоку у вузькому діапазоні довжин хвиль.

Оптичні пірометри.

На застосуванні залежності щільності потоку монохроматичного випромінювання від температури заснований принцип дії оптичних пірометрів. На рис.1.28 приведена схема оптичного пірометра зі «зникаючою» ниткою. Принцип дії такого пірометра заснований на порівнянні в певній довжині хвилі яскравості об'єкту вимірювання і градуйованого джерела випромінювання [14-16].

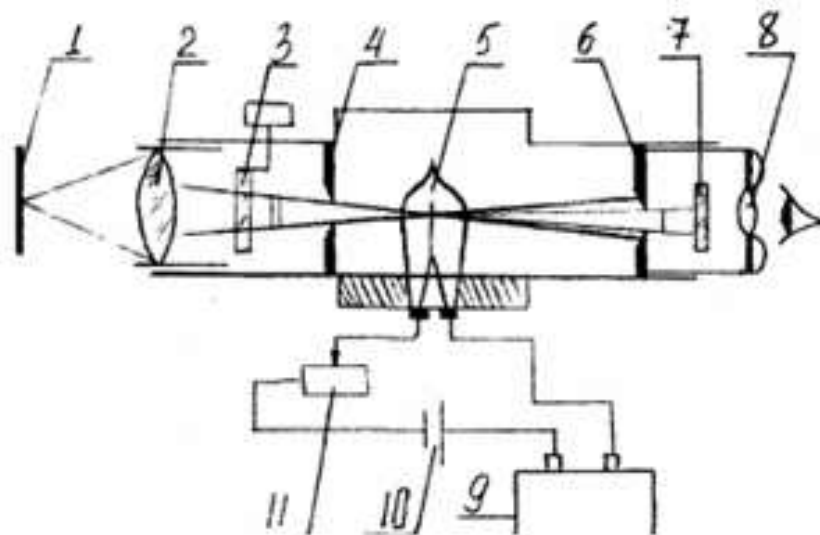


Рисунок 1.28 - Схема оптичного пірометра зі «зникаючою» ниткою

В площині нитки розжарення лампи 5 фокусується зображення випромінювача 1 лінзою 2 і діафрагмою 4 об'єктива пірометра. Оператор через діафрагму 6, лінзу 8 окуляра і червоний світлофільтр 7 на тлі розжареного тіла бачить нитку лампи. Переміщуючи движок реостата 11, оператор змінює силу струму, яка проходить через лампу, і добивається зрівнювання яскравості випромінювача і яскравості нитки. Якщо яскравість нитки менше яскравості тіла, то нитка на його фоні виглядає чорною смужкою. Відповідно при більшій температурі нитки вона буде виглядати, як світла дуга на темнішому фоні. При рівності яскравості нитки і випромінювача нитка «зникає» з поля зору оператора. Такий момент засвідчує про рівність температур яскравості об'єкту вимірювання і нитки лампи. Живлення лампи здійснюється з використанням батареї 10. Пристрій 9, що фіксує силу струму, яка протікає у вимірювальному колі, наперед проградуєований в значеннях залежності між силою струму і температурою яскравості АЧТ, яка дозволяє проводити зчитування результату в $^{\circ}\text{C}$.

Розглянутий тип пірометрів дозволяє вимірювати температуру 700...8000 $^{\circ}\text{C}$. Для оптичних пірометрів промислового використання в інтер-

валі температур основна допустима похибка вимірювання складає ± 20 °С. На точність самого вимірювання будуть впливати невизначеність і змінність спектрального ступеню чорноти. Також можлива зміна інтенсивності випромінювання за рахунок послаблення в проміжному середовищі, а так само за рахунок віддзеркалення сторонніх променів.

Пірометри фотоелектричні.

Пірометри фотоелектричні часткового випромінювання можуть забезпечити безперервне автоматичне вимірювання та реєстрацію температури об'єкту, що досліджується. Їхній принцип роботи заснований на застосуванні залежності інтенсивності випромінювання від температури у вузькому інтервалі довжин хвиль самого спектру. В даних пристроях в якості приймачів застосовуються фотоопори, фотодіоди, фотоелементи і фотопомножувачі.

Пірометри фотоелектричні часткового випромінювання поділяються на дві групи:

- пірометри, які вміщують стабільне джерело випромінювання, при чому фотоприймач використовується лише як індикатор рівності яскравості даного джерела і об'єкту;

- пірометри, в яких мірою температури об'єкту виступає безпосередньо величина фотоструму приймача випромінювання.

На рис.1.29 представлена схема фотоелектричного пірометра, яку можна віднести до другої групи пірометрів. У ньому в якості приймача випромінювання використовується фотоелемент. Потік від випромінювача 1 лінзою 2 і діафрагмою 3 об'єктива фокусується на отворі 7 в утримувачі світлофільтру 5 в такому положенні, щоб зображення поверхні випромінювача, що візується перекривало даний отвір. В такому випадку величина світлового потоку, що падає на катод фотоелемента 6, який розташований за світлофільтром, буде визначатися яскравістю випромінювача, тобто його температурою [14-16].

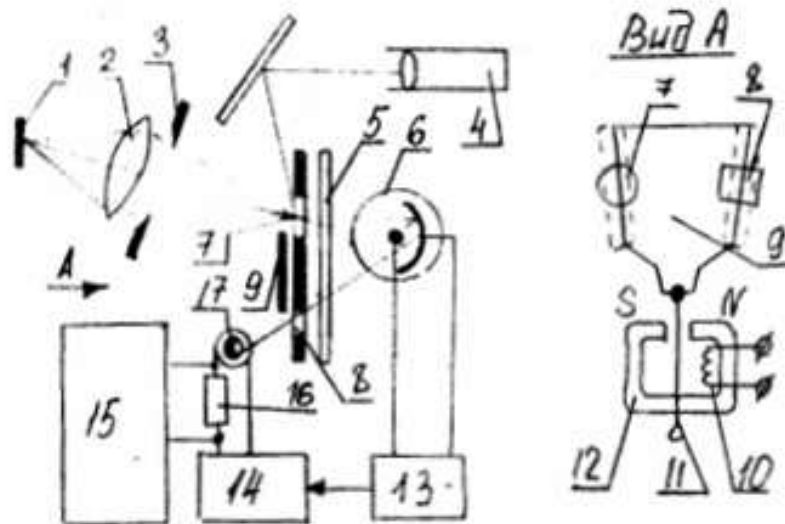


Рисунок 1.29 - Схема фотоелектричного пірометра

В утримувачі самого світлофільтру розташований ще один отвір 8, через який від лампи зворотного зв'язку 17 на фотоелемент потрапляє потік. Світлові потоки від випромінювача 1 і лампи 17 подаються на катод змінно з частотою 50Гц, що забезпечується, в свою чергу, за допомогою вібруючої заслонки 9. За допомогою котушки збудження 10 і постійного магніта 12 забезпечується поворотно-поступальна хода заслонки. У вібраторі здійснюється перемагнічування сталевого якоря 11, який з частотою 50 Гц по черзі притягується полюсами магніта 12. Таким чином переміщає заслонку 9.

При відмінності світлових потоків випромінювача 1 і лампи 17 в струмі фотоелемента появиться змінна складова, що має частоту 50 Гц і амплітуду, що пропорційна різниці даних потоків. Підсилювач 13 забезпечує підсилення змінної складової, а її подальше випрямлення - фазовий детектор 14. Вихідний сигнал, що отримується подається на лампу. Це, в свою чергу, викликає зміну сили струму розжарювання. Це буде проходити до тих пір, поки світлові потоки від двох джерел не зрівняються на катоді фотоелемента. Отже, однозначно струм лампи зворотного зв'язку зв'язаний з температурою яскравості об'єкту вимірювання.

В коло лампи 17 додано опір 16, який калібрується. Падіння напруги на ньому пропорційно силі струму і вимірюється швидкодіючим потенціометром 15, що забезпечений температурною шкалою. Окуляр 4, в свою чергу, забезпечує наведення пристрою на об'єкт вимірювання.

В фотоелектричних пірометрах із межами вимірювання від 500 до 1100 °С застосовуються киснево-цезієві фотоелементи, а в приладах з шкалою 800...4000 °С вакуумні стибіум-цезієві. Отримання ефективної довжини хвилі пірометра $0.650.01 \pm \mu\text{мкм}$ забезпечує поєднання останнього з червоним світлофільтром. Це призводить до збігу свідчень фотоелектричного пірометра з свідченнями візуального оптичного.

Пірометри спектрального відношення.

Пірометри зазначеного типу вимірюють колірну температуру об'єкту по відношенню до інтенсивності випромінювання в двох певних дільницях спектру, кожна з яких описується ефективною довжиною хвилі $\lambda_1 \lambda_2$.

На рис.1.30 представлена схема двохканального пірометра спектрального відношення (ПСВ). В ньому перетворення енергії отримання в електричні сигнали здійснюється за допомогою двох кремнієвих фотодіодів [14-16].

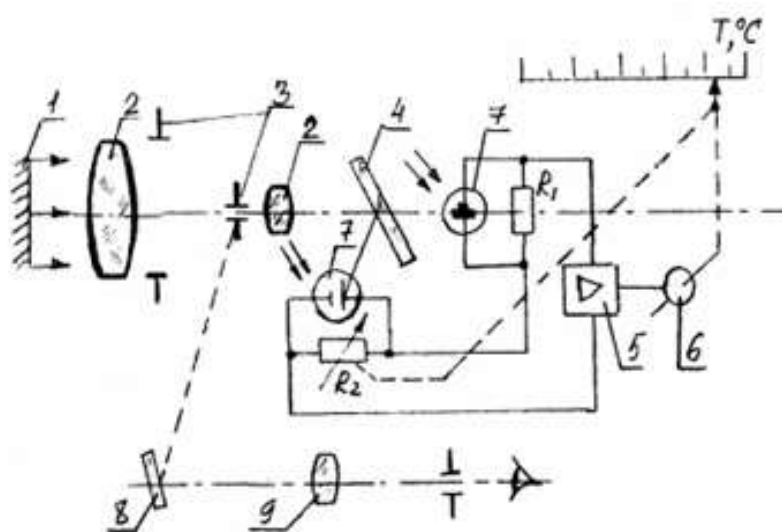


Рисунок 1.30 - Схема двохканального ПСВ

Потік, що випромінюється від об'єкту вимірювання 1 за допомогою оптичної системи, що складається з лінз 2, апертурної і польової діафрагми 3, передається на інтерференційний світлофільтр 4. Даний світлофільтр забезпечує виділення двох потоків, кожний з яких характеризується своїм власним спектром. Зазначені потоки потрапляють на кремнієві фотодіоди 7, що перетворюють випромінювання у фотострум, який протікає через опори R1 і R2, увімкнені у вимірювальну схему вторинного реєструючого приладу, – логометра.

На вхід підсилювача 5 подається різниця падінь напруги на опорах. В подальшому вихідний сигнал з підсилювача поступає на реверсивний двигун 6, який переміщує рушій реохорда R2 і стрілку щодо шкали настання балансу, відповідного температурі, що вимірюється.

Інтерференційний фільтр 4 є напівпрозорим дзеркалом, що має високий коефіцієнт пропускання в одній області спектру і високий коефіцієнт віддзеркалення в іншій. Дзеркало 8 і окуляр 9, в свою чергу, забезпечують візуальне наведення об'єктиву пірометра на об'єкт вимірювання. Для зменшення похибки від впливу навколишньої температури фільтр 4 і приймачі випромінювання 7 розміщуються в термостаті.

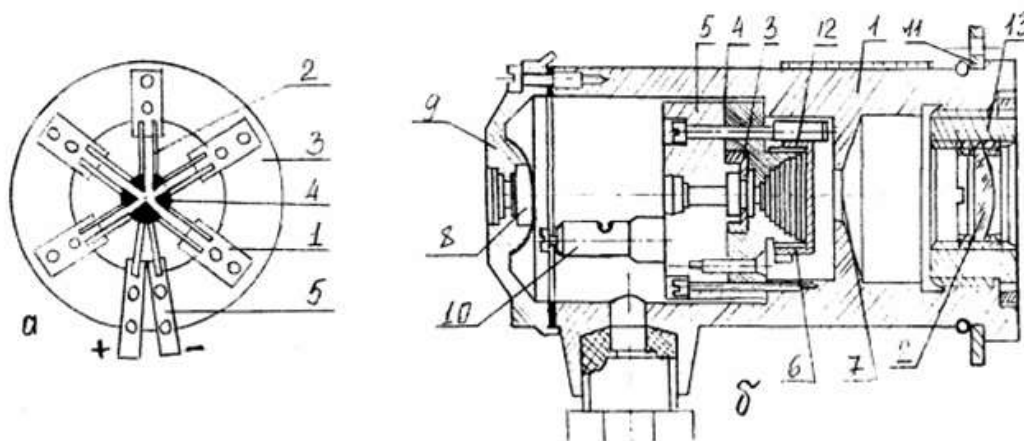
Пірометри спектрального відношення використовуються для вимірювання температур розплавленого і твердого металу в широкому інтервалі температур від 300 до 2200 °С. Вони мають клас точності 1 і 1,5 (залежно від границі вимірювання). Такі пірометри мають в 3-5 разів меншу методичну похибку, що пов'язана із зміною ступеню чорноти випромінювача. На їхні свідчення значно менше впливають поглинання середовища проміжного. Проте, у випадках, коли об'єкт характеризується селективним випромінюванням (ступінь чорноти при одній і тій же самій температурі різко змінюється в залежності від довжини хвилі), похибка ПСО може бути вищою за

похибку пірометрів випромінювання інших типів. Пірометри спектрального відношення складніші і менш надійніші, чим інші прилади.

Пірометри сумарного випромінювання.

Пірометр сумарного випромінювання (ПСВ), який приведений на рис.1.31 вимірює радіаційну температуру тіла. Його ще часто називають радіаційним [14-16].

Принцип дії такого вимірювача температури заснований на застосуванні закону Стефана-Больцмана. Проте у разі використання оптичних систем в ПСВ визначення температури здійснюється по щільності інтегрального випромінювання не на всьому інтервалі довжин хвиль, а значно меншому інтервалі. Наприклад для плавленого кварцу робочий спектральний діапазон складає 0,44 мкм, а для скла - 0,42 мкм.



а - термочутливий елемент; б – телескоп

Рисунок 1.31 - Пірометр сумарного випромінювання:

Датчик зазначеного пірометра виконується у вигляді телескопа. Його лінза об'єктиву фокусується на термочутливому приймачі випромінювання нагрітого тіла. В якості термочутливого елемента застосовуються термобата-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

реї, термопари, болометри (напівпровідникові і металеві), біметалічні спіралі тощо. Найчастіше застосовуються термобатарей (рис.1.31, а), в яких розміщено 6-10 мініатюрних термопар (наприклад, хромель-капельові), з'єднаних послідовно. Потік випромінювання, в свою чергу, потрапляє на розклепані у вигляді тонких зачорнених пелюсток робочі кінці 4 термопар 2. До тонких пластинок 1, закріплених на слюдяному кільці 3 приварюються вільні кінці термопар. Металеві виводи 5 використовуються для приєднання до вимірювальних приладів. В якості вимірювальних приладів можуть використовуватися потенціометри чи мілівольтметри.

На рис.1.31, б представлена конструкція телескопа. Він включає в себе: корпус 1 з діафрагмою 7; об'єктив, що має скляну або кварцову лінзу 2, встановлену у втулці 13; блок термобатарей, що складається з самої термобатарей 3, корпусу 5, відростка, на який нагвинчується рухома діафрагма 6, та контактних гвинтів 10; компенсаційний мідний опір 4, що шунтує термобатарей і забезпечує зменшення впливу вимірювань температури телескопа на покази пірометра; окуляр, що включає лінзу 8 і захисне скло 9. Фланець 11 використовується для кріплення корпусу до захисної арматури, що забезпечує роботу пірометра в складних умовах, наприклад металургійного виробництва.

Переміщенням діафрагми 6, зубчатий вінець якої з'єднаний із зубами трубки 12 забезпечується отримання стандартного градування.

На основі проведеного огляду можна зробити висновок, що для вимірювання температури рухомого якоря електричного двигуна найбільш придатними є пірометри сумарного випромінювання.

1.5 Огляд схем по регулюванню частоти обертання електродвигунів

1.5.1 Регулювання оборотів за допомогою регулювання напруги зі зворотним зв'язком по струму навантаження електродвигуна

Розглянемо схему регулювання оборотів за допомогою регулювання напруги зі зворотним зв'язком по струму навантаження електричного двигуна [17-18].

В електроінструменті й інших електропобутових приладах в більшості випадків застосовуються універсальні колекторні електродвигуни з послідовним збудженням. Вони добре працюють як на постійному так і на змінному струмі. Особливістю роботи таких двигунів є те, що при комутації обмоток якоря на ламелях колектора під час розмикання виникають імпульси проти-електрорушійної сили самоіндукції. Вони рівні живлячим по амплітуді, але протилежні їм по фазі. Кут зсуву проти-електрорушійної сили визначається зовнішніми характеристиками електричного двигуна, його навантаженням і іншими факторами. Шкідливий вплив проти-е.р.с. виражається втратою потужності двигуна, іскрінням на колекторі, додатковому нагріванні обмоток. Деяка частина проти-електрорушійної сили погашається конденсаторами, що шунтують щітковий вузол.

Розглянемо процеси, що протікають у режимі регулювання із зворотним зв'язком (33), на прикладі універсальної схеми, що представлена на рис.1.32 та на листі [МРМА22.00.00.000ДО1]) [17-18].

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

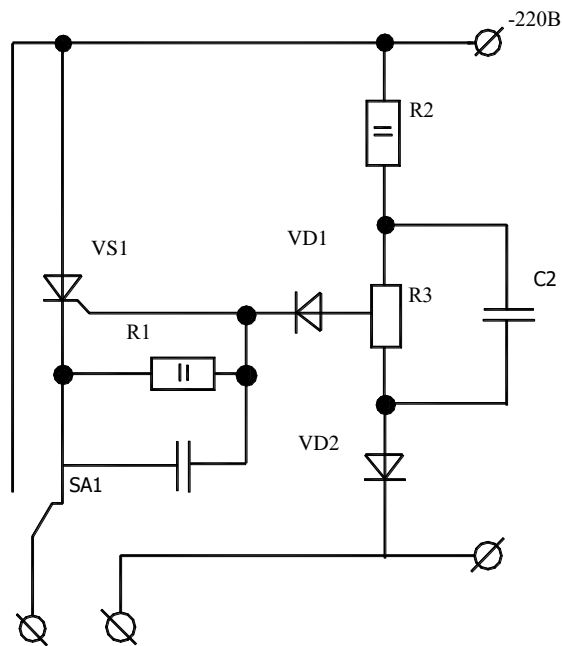


Рисунок.1.32 - Схема регулювання оборотів за допомогою регулювання напруги із 33 по струму навантаження двигуна

Резистивно-ємнісне коло R12-K3-C2 забезпечує формування опорної напруги, що визначає швидкість обертання двигуна. При збільшенні навантаження його швидкість обертання падає. В свою чергу, знижується і крутний момент. Проти-електрорушійна сила, що виникає на електричному двигуні і, яка, прикладена між катодом тиристора V51 і його управляючим електродом, зменшується. Напруга на керуючому електроді тиристора, внаслідок цього, зростає пропорційно зменшенню проти-е.р.с. Додаткова напруга на управляючому електроді тиристора змушує останній вмикатися при меншому фазовому куті (куті відсікання) і пропускати на електричний двигун більший струм. Тим самим компенсуючи зниження швидкості обертання головного валу двигуна під навантаженням. Існує як би баланс імпульсної напруги на управляючому електроді тиристора, що складається з напруги живлення і напруги самоіндукції електродвигуна. Перемикач SA1 дозволяє при потребі перейти без регулювання на живлення повною напругою. Особлива увагу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

слід приділяти підбору тиристора по мінімальному струмі включення, що забезпечить кращу стабілізацію швидкості обертання двигуна.

Схема регулювання оборотів, що приведена на рис.1.33, розрахована на більш потужні електродвигуни, що знайшли застосування в шліфувальних машинах, деревообробних верстатах, дрелях тощо. Принцип регулювання залишається незмінним [17-18]. Тиристор в такій схемі встановлюється на радіатор площею не менш 25 см².

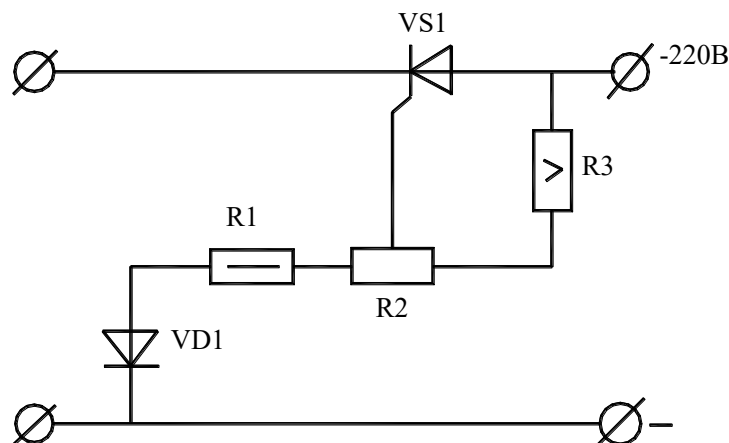


Рисунок 1.33 - Схема регулювання оборотів потужних електродвигунів

Схема в якій використовується інтегральна мікросхема, приведена на рис.1.34. Така схема застосовується для регулювання швидкості обертання малопотужних електричних двигунів. Вона розрахована на живлення 12В від джерела постійного струму. У випадку більш високої напруги слід живити мікросхему через параметричний стабілізатор з напругою стабілізації, що не вище 15В. Регулювання швидкості проходить шляхом зміни середнього значення напруги імпульсів, які подаються на електричний двигун. Такі імпульси можуть ефективно регулювати дуже малі швидкості обертання, ніби як безупинно «підштовхуючи» ротор електродвигуна. При високих швидкостях обертання електродвигун працює звичайним чином [17-18].

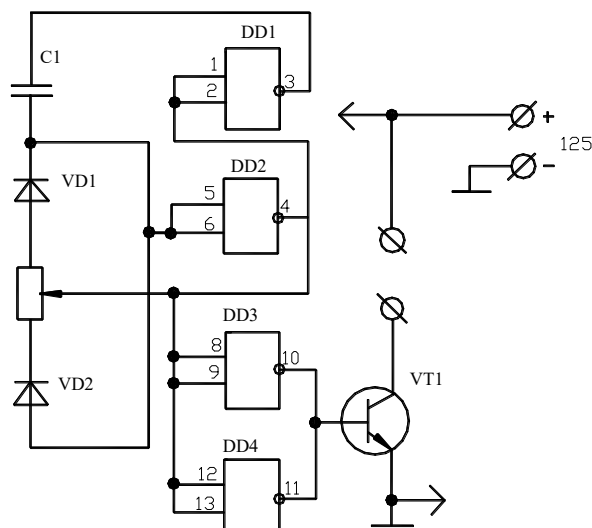


Рисунок 1.34 - Схема регулювання оборотів електродвигуна із
Застосуванням інтегральної мікросхеми

Коли виникає потреба в регулюванні оборотів електродвигунів з великим крутним моментом на головному валу електродвигуна застосовується двохнапівперіодна схема (рис.1.35), яка забезпечує повну потужність на ньому, що істотно відрізняє її від попередніх, де працювала тільки одна напіввиля напруги живлення. Діоди VD2 і VD6 та резистор погашення R2 застосовуються для живлення схеми запуску. Зарядом конденсатора C1 через резистори R3 і R4 від джерела напруги, рівень якої визначається стабілітроном VD8 здійснюється затримка відкриття тиристорів по фазі. Коли конденсатор C1 зарядиться до порога спрацьовування одноперехідного транзистора VT1, він відкривається і запусить той тиристор, на аноді якого присутня позитивна напруга. Коли конденсатор розрядиться, одноперехідний транзистор вимкнеться. Номінал резистора R5 залежить від типу електричного двигуна і необхідної глибини зворотного зв'язку. Розглянуті схеми можна добре повторити, але вимагають підбору деяких елементів в залежності від характеристик електричного двигуна, що застосовується (практично не є неможливим

знайти подібні по всіх параметрах електродвигуни навіть у межах однієї серії) [17-18].

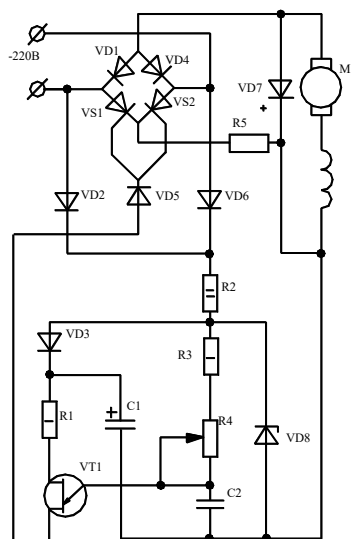


Рисунок 1.35 - Схема регулювання оборотів електричного двигуна з великим крутним моментом на вихідному валу

1.5.2 Регулятор потужності зі зворотним зв'язком

Часто потрібно понизити частоту обертання електричного дреля або іншого електричного інструмента з колекторним двигуном змінного струму. В більшості випадків регулятори потужності добре управляють активним навантаженням, тоді як регулювання реактивним навантаженням має свої особливості. В більшості випадків використовують число-імпульсний, або фазо-імпульсний принцип регулювання.

Показана на рис.1.36 схема здійснює регулювання зі зворотним зв'язком по струму колекторного електродвигуна змінного струму, завдячуючи чому при збільшенні навантаження відповідно збільшується крутний момент на валу електродвигуна. Схема була реалізована для приводу швейної машини в умовах виробничого підприємства. Для регулювання оборотів швейних машин застосовують вугільні у вигляді таблеток реостати, які не є довговіч-

ними. Регулятор, який представлений на даному рисунку, складається із силового ключа, побудованого на триністорі VS1, випрямних вентилів VD1, VD2 і змінного резистора R2 у колі управління. На виході передбачений міст випрямляча. Всі елементи регулятора змонтовані на платі навісним монтажем та закриті корпусом з удароміцним пластиком [17-18].

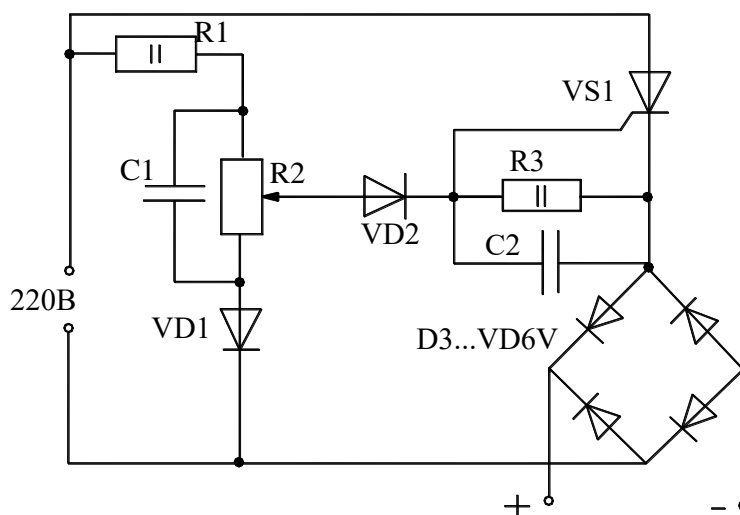


Рисунок 1.36 - Регулятор потужності зі зворотним зв'язком

Певні труднощі представляє собою механічний вузол, що передає зусилля від педалі на вісь потенціометра, але його можна удосконалити, якщо застосувати зубчастий сектор і шестерню.

Характерна риса роботи такого регулятора – це його зворотний зв'язок по навантаженню. При збільшенні навантаження збільшується крутний момент на валу двигуна. Завдячуючи цьому швейна машина працює більш плавно, легко проходить потовщення у виді швів. Іскріння на колекторі не виникає. При застосуванні регулятора для більш потужних електричних двигунів підбирається по струму міст для випрямлення і триністор встановлюється на радіаторі.

1.5.3 Регулятор частоти обертання електродвигуна, що стабілізує його швидкість при змінні навантаження

Регулятор частоти обертання електричного двигуна, що стабілізує його швидкість при зміні самого навантаження, істотно підвищує експлуатаційні можливості таких електропобутових приладів, як електричний дріль, кухонний комбайн, електропилка, побутова швейна машина і т.п. На сьогодні відомий простий і ефективний однонапівперіодний регулятор швидкості колекторного електродвигуна послідовного збудження. Він стабілізує швидкість обертання за рахунок зворотного зв'язку по величині проти-електрорушійної сили, що виникає на роторі двигуна і залежить від його навантаження. Але такий регулятор має суттєвий недолік - в ньому застосовується високочутливий тиристор зі струмом відкривання менше 100 мкА. Йому заміну підібрати практично неможливо. Перш ніж перейти до опису удосконаленого регулятора електричного привода, розглянемо принцип дії такого простого регулюючого пристрою. Принципова схема такого регулятора представлена на рис.1.37 [17-18].

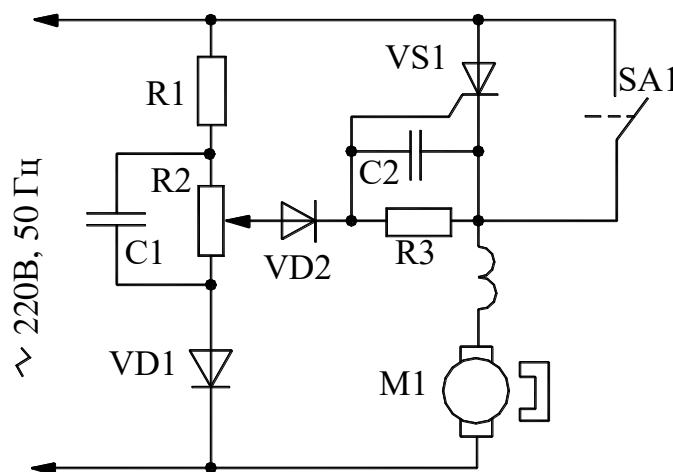


Рисунок 1.37 - Регулятор електроприводу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Такий регулятор - це міст, ліве плече якого утворене ділянкою напруги електричної мережі R1 - R2 C1 - VD1, а праве утворене тиристором VS1 і електричним двигуном M1. Керуючий перехід тиристора увімкнений в діагональ моста. Сигнал, що відкриває тиристор представляє собою суму, яка складається в протифазі сигналів; напруги електромережі, що встановлюється рушієм резистора R2f і проти-електрорушійної сили із ротора електродвигуна. При постійності напруг міст збалансований і частота обертання двигуна також не змінюється. Збільшення навантаження на валу електродвигуна знижує його обороти і зменшує відповідно величину проти-електрорушійної сили, яка приводить до розбалансування моста. В результаті сигнал, що поступає на керуючий перехід тиристора, зростає, і в наступному позитивному напівперіоді з меншою затримкою він відкривається, збільшуючи таким чином підведену до двигуна потужність. В підсумку зниження частоти обертання електродвигуна через збільшення самого навантаження виявляється істотно меншим, чим було б при відсутності регулятора.

В розглянутому випадку регулювання виходить доволі стійким, тому що неузгодженість усувається в кожному позитивному напівперіоді мережевої напруги. Найбільше ефект стабілізації виражений при малій і середній частотах обертання електричного двигуна. Зі збільшенням напруги регулювання на резисторі R2 і збільшенням числа оборотів головного валу двигуна ступінь підтримання незмінної швидкості двигуна погіршується. Тиристор VS1 у представленому регуляторі виконує дві функції:

- порогову по сигналу неузгодженості моста;
- силову - по струму, що комутується, через двигун.

Діоди VD1, VD2 забезпечують однонапівперіодний режим роботи пристрою поскільки порівняння напруг від резистора R2 і проти-електрорушійної сили можливе тільки при відсутності струму через електричний двигун. Конденсатор C1 в ділянці напруги електричної мережі розши-

рює зону регулювання в сторону малих швидкостей, а конденсатор С2 в колі керуючого електрода тиристора знижує чутливість регулятора до іскріння щіток електричного двигуна [17-18].

Однонапівперіодний режим роботи двигуна призводить до зниження потужності, що віддається. Для досягнення максимальних потужностей і швидкості потрібно здійснити шунтування тиристора, при цьому натиснувши на кнопку SA1. В такому випадку на електричний двигун будуть подаватися дві напівхвилі мережевої напруги. Як вже зазначалося вище, основний недолік представленого регулятора складається в потребі використання високочутливого тиристора зі струмом відкриття менш 100 мкА, який практично замінити немає чим. Додавання транзисторного аналога тиристора дозволяє зняти обмеження на параметри відкриття VS1 при збереженні тих же характеристик регулювання. Встановлення стабілітрона в дільник напруги мережі знижує зміну швидкості самого двигуна при коливаннях напруги живлення.

1.6 Задачі, які необхідно вирішити в магістерській роботі

На основі проведеного огляду визначено задачі, які потрібно вирішити в магістерській роботі.

1. Розробити конструкцію стенду для дослідження колекторних двигунів різної електропобутової техніки.
2. Виконати розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції стенду.

1.7 Висновки до розділу

В даному розділі здійснено аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. Приводяться загальні відомості про типи електричних двигунів. Описується будова та принцип роботи колекторного електричного двигуна. Розглядаються основні показники, які необхідно врахувати при проектуванні та дослідженні електроприводу. Приводиться огляд та аналіз засобів безконтактного вимірювання температури та схем по регулюванню частоти обертання електродвигунів.

На основі проведеного огляду визначено задачі, які потрібно вирішити в магістерській роботі.

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛЕКТОРНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ

2.1 Формулювання завдання і основних принципів конструктивно-схемних рішень

Стенд, що розробляється, повинен давати можливість випробовувати на навантажувальну здатність колекторні електричні двигуни малої і середньої потужності (до 500 Вт) з частотою обертання до 4000 об/хв, які в більшості випадків використовуються в електричних приводах складнопобутової техніки. Виключення складають тільки пирососи.

З метою проведення випробувань електродвигунів стенд повинен реалізовувати наступні електричні функції:

- живлення якоря електродвигуна з подальшою можливістю регулювання напруги;
- захист електричного двигуна від перевантаження;
- живлення обмотки збудження електричного двигуна;

механічні функції:

- навантаження моментом опору з можливістю його регулювання валу електричного двигуна;

вимірювальна система стенду повинна забезпечувати визначення:

- напруги живлення електричного двигуна;
- струму якоря;
- температури обмоток якоря;
- моменту опору на валу електродвигуна;
- швидкість обертання валу.

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Для збільшення продуктивності випробувань і досягнення кращої точності, вимірювальна система стенду повинна працювати в автоматичному режимі з записом результатів на комп'ютер.

Для реалізації перерахованих функцій наступним чином запропоновано виконати стенд наступним чином [19-22].

Компонування стенду повинно мати настільний варіант з горизонтальним розташуванням валу електричного двигуна.

Для навантаження електродвигуна моментом опору було застосовано відомий метод – використано генератор постійного струму, який обертається від електродвигуна і електричне коло якоря якого навантажується змінним опором.

Для живлення якоря електричного двигуна було використано діодний випрямляч і лабораторний трансформатор [23].

Для вимірювання моменту опору на валу електродвигуна було застосовано тензометричний датчик у вигляді консольної балки, яка навантажується статором електродвигуна. З цією метою вал двигуна з однієї сторони жорстко поєднано з валом генератора за допомогою муфти. Якщо двигун має інший вільний кінець, то він розміщується на підшипник кочення, корпус якого кріпиться до основи стенда. Якщо електричний двигун немає вільного кінця валу, то в підшипниковий вузол встановлюється перехідний пристрій, який має ободок з фіксуючими гвинтами для закріплення статора. Електродвигуни невеликої потужності можуть утримуватись тільки за рахунок муфти, що консольно з'єднує їх з валом генератора.

З метою передачі зусилля від обертового моменту на тензометричну балку на статор жорстко закріплюється штовхач. Варіанти його кріплення можуть бути різними, в залежності від конструкції самого електродвигуна. В магістерській роботі розглядається варіант кріплення штовхача до базових лап електричного двигуна.

Для вимірювання температури якоря електричного двигуна під час проведення експериментальних досліджень необхідно забезпечити до нього оптичний (візуальний) доступ. Якщо електричний двигун закритого типу, то в корпусі зразка, що досліджується потрібно зробити вікно певного розміру для «засвічування» обмотки якоря датчиком пірометра.

Вимірювання частоти обертання валу двигуна проходить за допомогою тахогенератора.

Вимірювання всіх електричних величин (напруги, сили струму, напруги тахогенератора, підсилених сигналів від тензодатчика і пірометра) проводиться за допомогою аналого – цифрового перетворювача (АЦП), що від'єднується до комп'ютера (лист [МРМА22.00.00.000ДО2] [24, 25].

В результаті обробки експериментальних даних при плановій зміні режимів роботи електричного двигуна необхідно отримувати залежності зміни струму якоря, напруги якоря, моменту опору (реакції статора), температури якоря і частоти обертання в реальному часі.

Для захисту електронної частини схеми від високої напруги в силовій частині використовується гальванічна розв'язка на основі оптопар.

2.2 Вибір генератора і електричного двигуна для проектної розробки стенду

Для спрощення задачі узгодження електромеханічних параметрів в якості електродвигуна і генератора було вибрано один тип електричної машини постійного струму з незалежним збудженням типу 2ПН [26]. Потужність двигуна не повинна перевищувати 500 Вт, а частота обертання повинна мати як найширший діапазон. Такій умові задовольняє електрична машина 2ПН90ЛУХЛ4, що має наступні характеристики [26]:

- номінальна потужність 0,34 кВт;

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- номінальна напруга живлення 110 В;
- максимальна частота обертання 4000 об/хв;
- опір якоря 2,83 Ома;
- опір обмотки збудження 555 Ом;
- номінальна частота обертання 1060 об/хв;
- коефіцієнт корисної дії 0,675;
- величина додаткового опору якоря 1,731 Ом;
- індуктивність якоря 64,5 мГн;
- характеристика вмонтованого тахогенератора 0,033 В/(об/хв).

Вибір машини саме з номінальною напругою 110 В обумовлений потребою регулювання швидкості обертання «вверх» від номінальної при самому випробуванні.

2.3 Розробка силової частини електричної принципової схеми стенда

Розроблена силова схема стенду дає можливість виконувати наступні режими роботи двигуна:

- - пуск в функції часу з додатковим опором в колі якоря;
- - динамічне гальмування;
- - прямий пуск;
- - гальмування проти включенням.

Схема прямого способу пуску електричного двигуна М з використанням перемикача SA4 приведена на рис. 2.1, а трьохступінчатого способу пуску з додатковими резисторами R5 і R6 в колі якоря у функції часу за допомогою перемикача SA3 – на рис. 2.2. У другому випадку використано реле часу КТ1 і КТ2, які включаються ключем SA2.

Встановлення витримки часу КТ1 і КТ2 відбувається за сумарним часом. Наприклад, за розрахунками витримка часу першого реле КТ1 складає $\tau_1 = 17$ с, а другого реле складає КТ2 $\tau_2 = 12$ с.

Тоді сумарний час витримки буде рівним:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 17 + 12 = 29 \text{ с.}$$

Схема електродинамічного гальмування із використанням перемикача SA5 представлена на рис. 2.3, а схема гальмування проти включенням з використанням перемикача SA6 представлена на рис. 2.4.

В якості резистора R_d при гальмуванні і резистора $R_{обм}$ при гальмуванні противмиканням застосовуються резистори R_5, R_6, R_7 , залежно від розрахункового значення.

Двигун М, що досліджується дістає живлення від лабораторного автотрансформатора (9 А) і випрямляча. Вимірювання струму якоря проводиться амперметром РА5, а швидкості обертання – цифровим вимірником швидкості.

2.4 Порядок роботи з силовою частиною стенду

1. В першу чергу необхідно зібрати схему по рис. 2.1 (лист [МРМА22.00.00.000Е2]) і виконати прямий спосіб пуску, увімкнувши перемикач SA4.

2. Здійснити режим електродинамічного гальмування електричного двигуна за схемою, що представлена на рис. 2.3 перемикачем SA5.

3. Зібрати схему за рис.2.2 і виконати автоматичний пуск двигуна у функції часу з додатковим опором в колі якоря, включивши перемикач SA1. Перед цим виконати виставлення витримок часу реле КТ1 і КТ2.

4. Виконати режим гальмування противключенням електричного двигуна по схемі рис. 2.4 перемикачем SA6 після прямого способу пуску.

5. За допомогою прикладного програмного забезпечення дані дослідів, що заносяться в комп'ютер обробити (наприклад в EXCEL) і побудувати графіки зміни температури обмоток якоря $t_{\text{я}}=f(t)$, стуму якоря $I=f(t)$ і швидкості $\omega=f(t)$ при перехідних процесах пуску та гальмування.

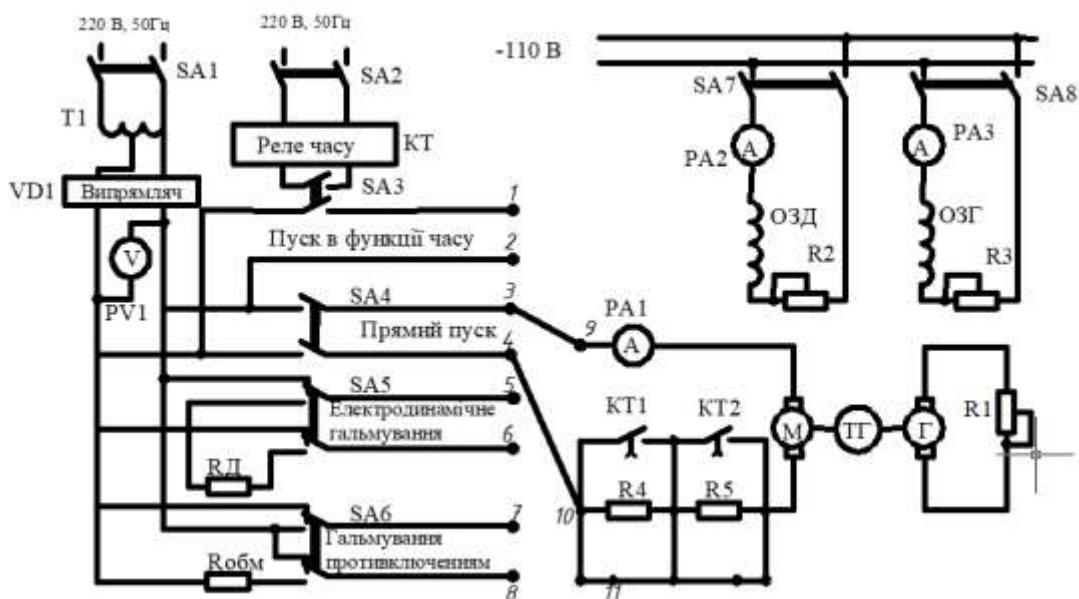


Рисунок 2.1 - Прямий спосіб пуску електричного двигуна постійного струму

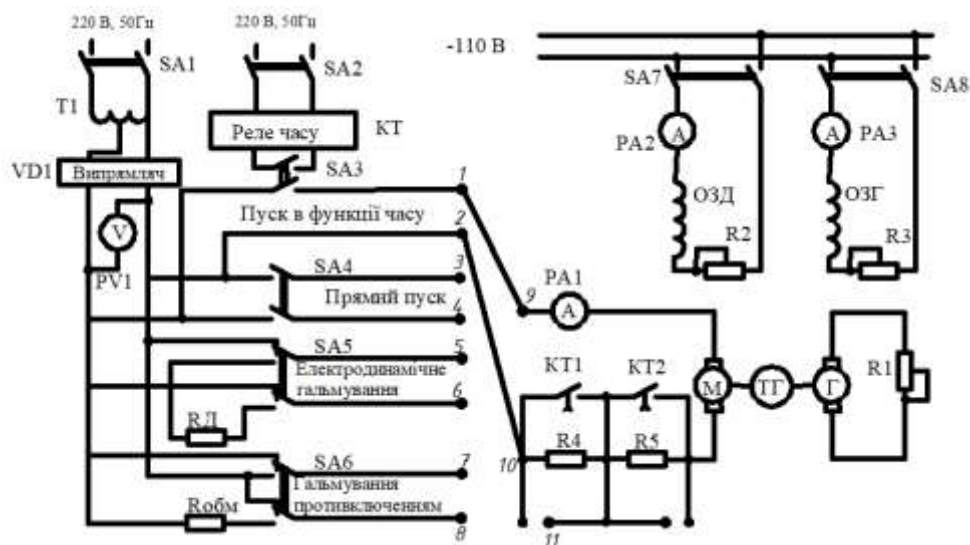


Рисунок 2.2. - Пуск електродвигуна постійного струму з додатковим резистором в колі якоря в функції часу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

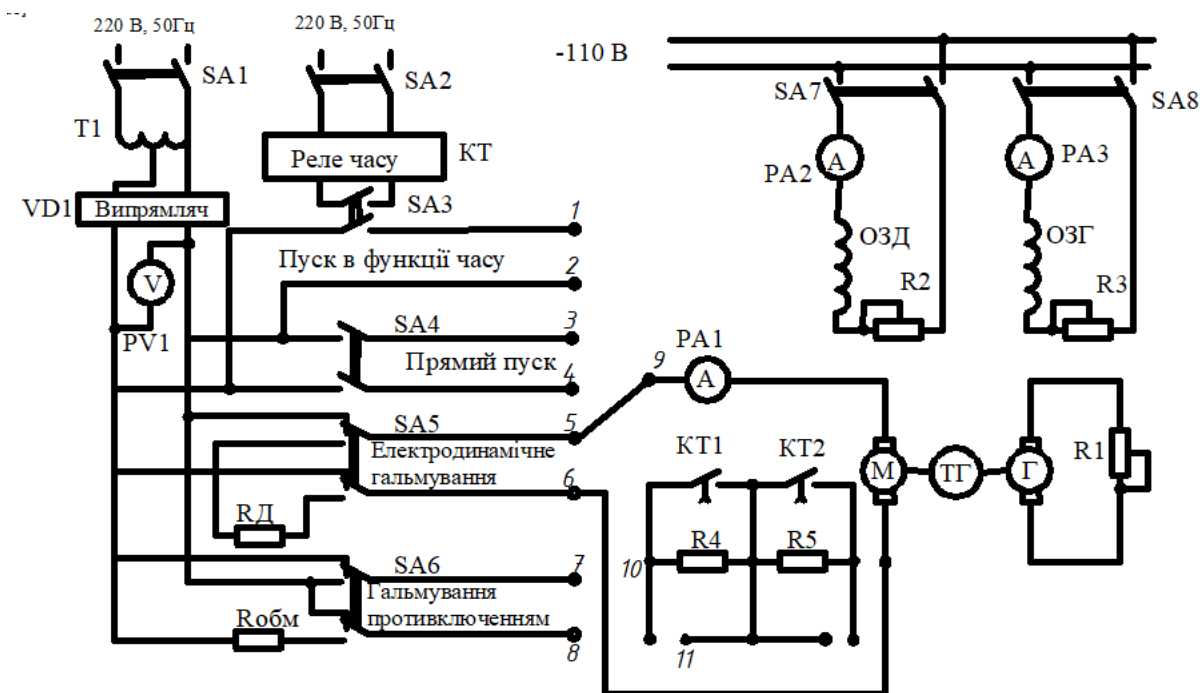


Рисунок 2.3 - Електродинамічне гальмування електричного двигуна постійного струму

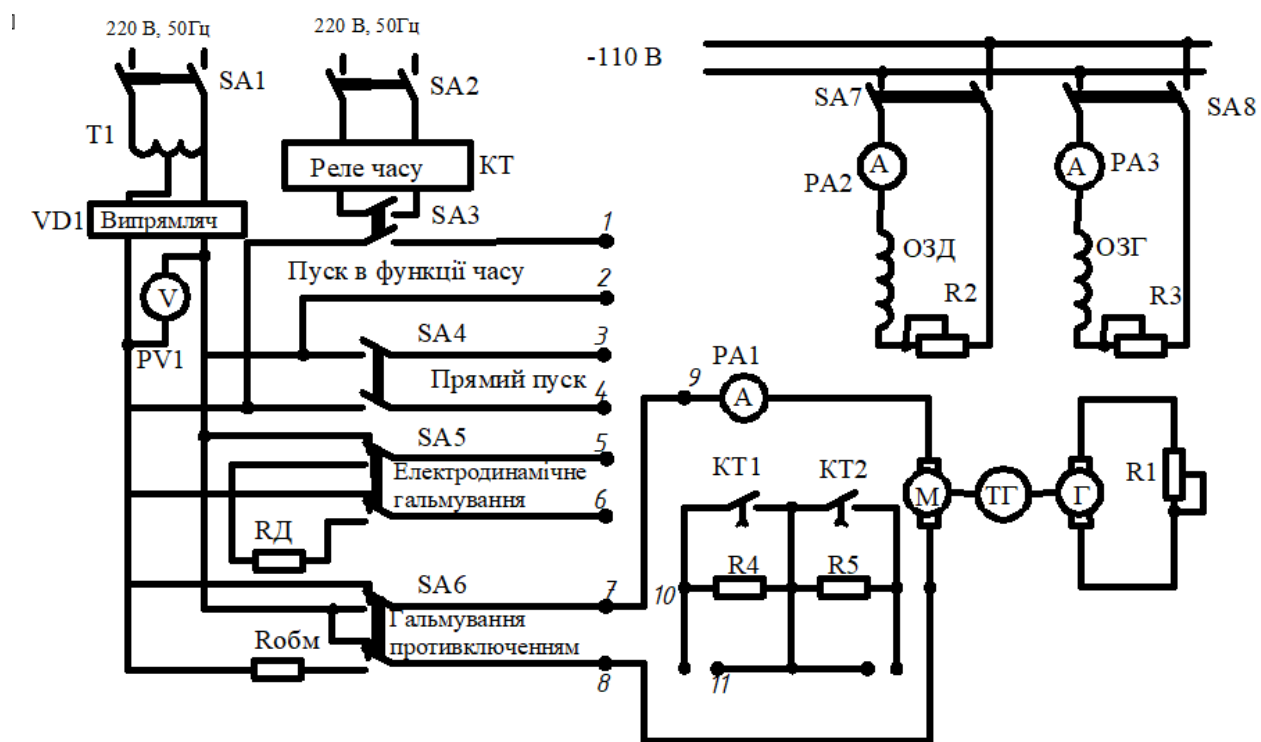


Рисунок 2.4 - Гальмування противключенням електродвигуна постійного струму

2.5 Розробка електричної схеми вимірювальної системи стенду

2.5.1 Структурна схема

Для вимірювання основних характеристик електродвигуна запропонована наступна структурна схема, що приведена на рис. 2.5 та на листі [МРМА22.00.00.000С1].

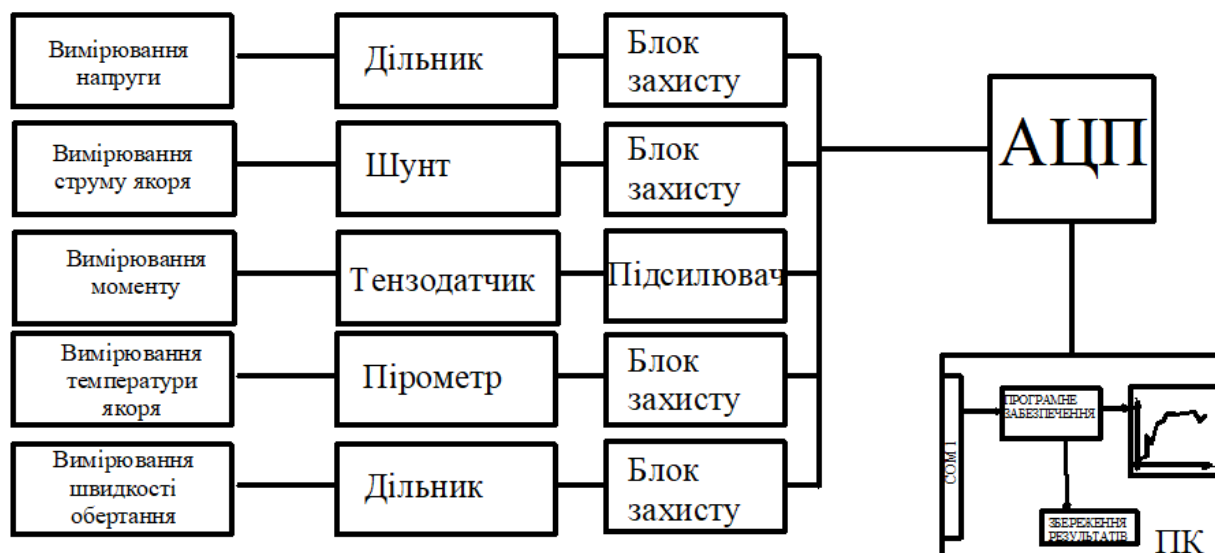


Рисунок 2.6 - Структурна схема системи вимірювання стенду

Для перетворення аналогового сигналу в цифровий застосовується аналогово-цифровий перетворювач, що підключався до шини PCI комп'ютера. Далі ці дані можна отримувати за допомогою програми і візуально відображувати, записуючи для подальшого аналізу. Візуальне відображення потрібне для контролю протікання процесу [24].

Для того, щоб виміряти потужність, вимірюємо силу струму і напруги. Для вимірювання напруги, безпосередньо вимірюємо напругу на обмотках. А для того, щоб отримати значення сили струму, визначаємо його із падіння напруги на обмотках, відповідно до схеми (рис. 2.2).

2.5.2 Блоки вимірювання струму і напруги якоря електродвигуна

Було запропоновано принципову схему, що складається з блоків, які дозволяють знімати основні характеристики і передавати їх на комп'ютер. Перший блок під'єднується до лінії проходження струму через обмотку двигуна і дозволяє визначити величину струму, яка проходить через цю лінію. Для цього використовується резистор опору, що послідовно підключається до обмотки двигуна і завдяки цьому опору визначається струм, що проходить через обмотку. Тому, саме для цього, сигнал, у запропонованій схемі, необхідно підсилити. Для цього використовується підсилювач AD620 (рис.2.6).

Звичайно, при роботі з високим напругим, можливий вихід із строю аналого-цифрового перетворювача і персонального комп'ютера, що приведе до значних матеріальних витрат. Враховуючи це, для уникнення можливостей випадкового пробію струму на АЦП і, в подальшому, попадання високої напруги на комп'ютер використовується опторозв'язка [23].

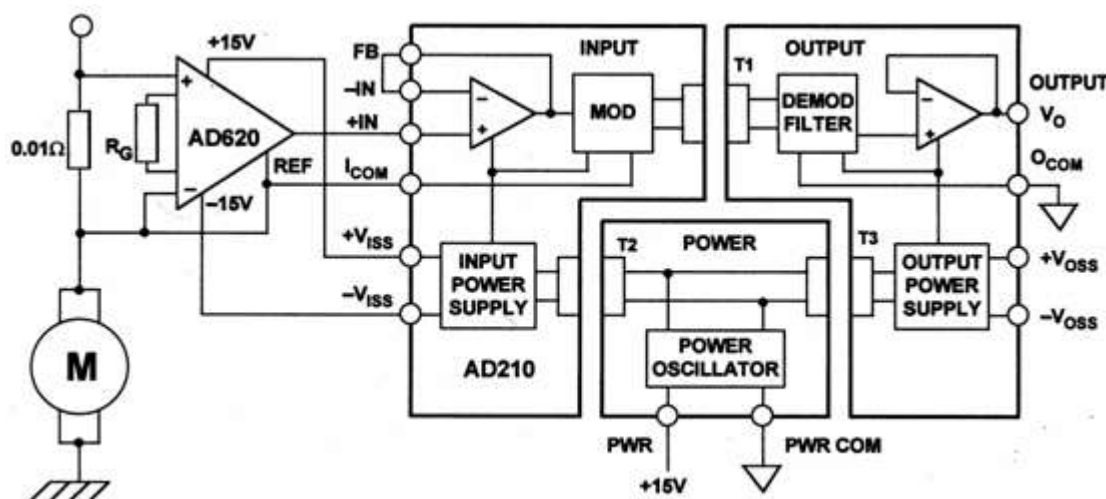


Рисунок 2.6 - Схема вимірювання струму

Аналогічно до принципу вимірювання струму, вимірювалася напруга. Тільки в схемі вимірювання напруги, що представлена на рис.2.7, напруги, знімаються безпосередньо на обмотці.

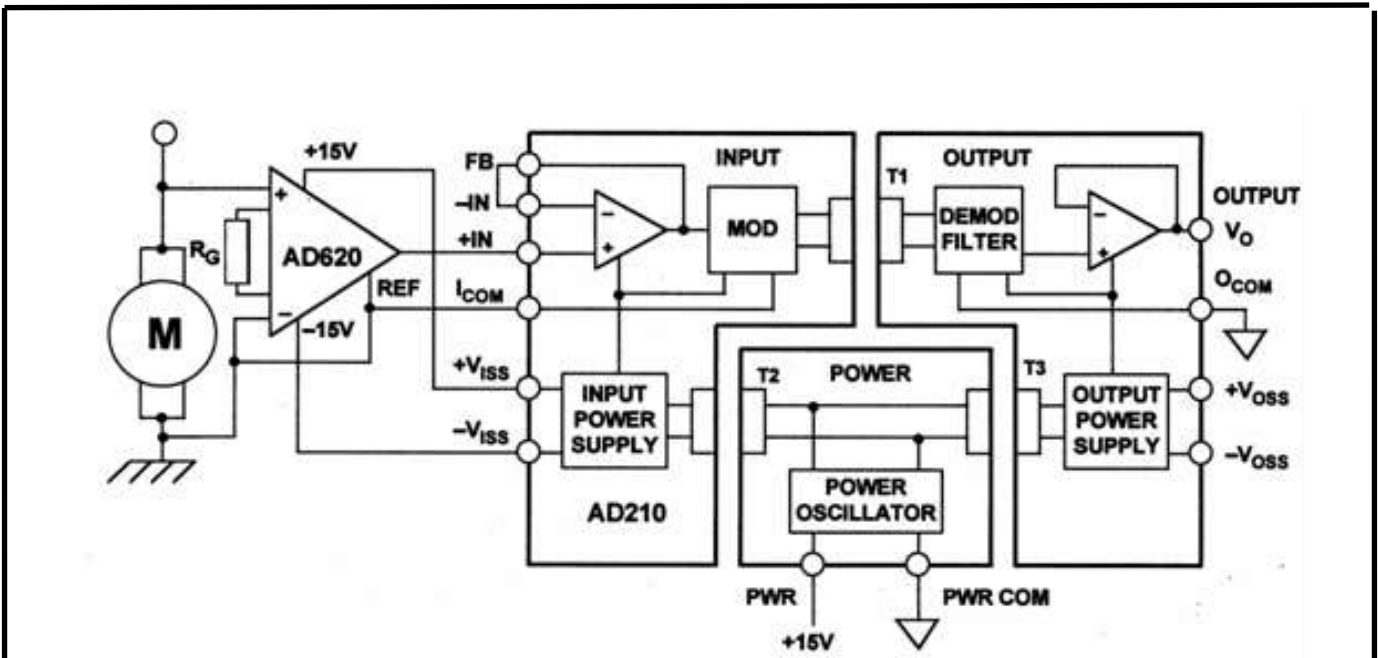


Рисунок 2.7 - Схема вимірювання напруги

З блоків аналоговий сигнал надходить до аналого-цифрового перетворювача, а звідси, уже цифровий сигнал подається на комп'ютер.

2.5.3 Розробка системи для вимірювання температури якоря

Істотною перевагою термоелектричних приймачів є їхня неселективність до падаючого випромінювання. Вони можуть працювати в широкому спектральному діапазоні (від ПК до УФ). У них відсутня жорстка вимога до термостатування пристроїв. Наприклад застосування в термоелектричному приймачі Тд-505 фториду барію в вхідному вікні і відповідних інтерференційних світлофільтрах дозволяє роботу такого пристрою в ультрафіолетовому діапазоні, тобто в діапазоні, видимого спектру, ближньому ПК і «другому атмосферному вікні» (8 - 14 мкм) .

В магістерській роботі необхідно було підібрати ряд пристроїв на основі термоелектричних сенсорів типа Тд-505, дослідження їхніх характеристик в різних областях використання, реалізація їх в простих і доступних при-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

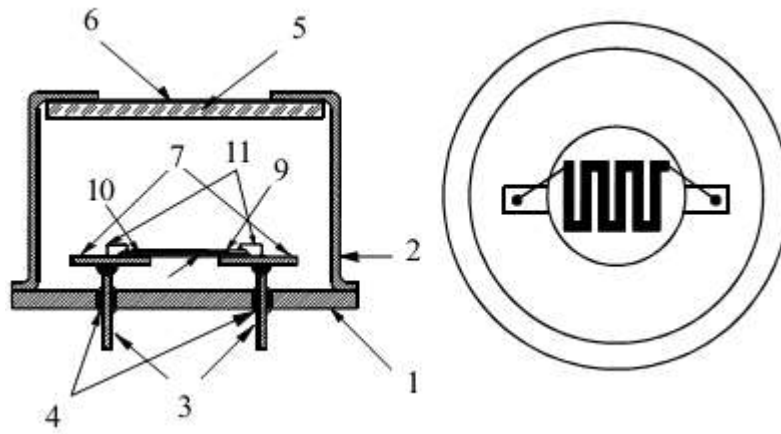
ладах для реєстрації локальної зміни температури в обмотках якорів колекторних двигунів.

Основний критерій вибору чутливого елемента, комплектуючих елементів, блоку живлення і вимірювальної частини полягав в забезпеченні потрібної чутливості (не гірше $0,1^{\circ}\text{C}$ на відстані до 1 м від об'єкту), відтворюваності результатів самих вимірювань, мінімального струму споживання, простоти в експлуатації.

Подібні прилади традиційно конструктивно виконуються за оптичною схемою дзеркального відбивача з поміщеним у фокусі сенсором [27]. Такі рішення мають резон застосування для значних дистанцій вимірювання (наприклад, для вимірювання температур високовольтних ліній електричних передач [27]), проте для невеликих відстаней і за умови, що важливе не абсолютне значення температури об'єкту, а лише аномалії, використання порівняльно габаритної зеркально-оптичної схеми, мабуть є, недоцільним.

На рис.2.8 показана конструкція термоелектричного сенсора ТД-505. Дані сенсори в часовому і температурному інтервалах мають значну стабільність. У них не відбувається істотної зміни характеристик впродовж декількох років експлуатації.

На рис.2.9 (лист [МРМА22.00.00.000ЕЗ]) відображена принципова електрична схема ІК - радіометра з невеликим струмом споживання (до 10 мА) і цифровою індикацією. Особливостями такого рішення є застосування і прецизійних і мікропотужних операційних підсилювачів постійного струму, двохполярного широтно-імпульсного автономного блоку живлення [25], наявність двох сенсорів вимірювальних каналів власної температури та каналів радіаційного потоку.



1 - основа; 2 - корпусу; 3 - виводи; 4 - скляні ізолятори; 5 - вікно;
 6 - інтерференційний фільтр; 7 - контактна площадка;
 8 - поліамідна плівка; 9, 10 - гетеро структура; 11 - контакт
 Рисунок 2.8 - Структура термоелектричного сенсора Тд-505:

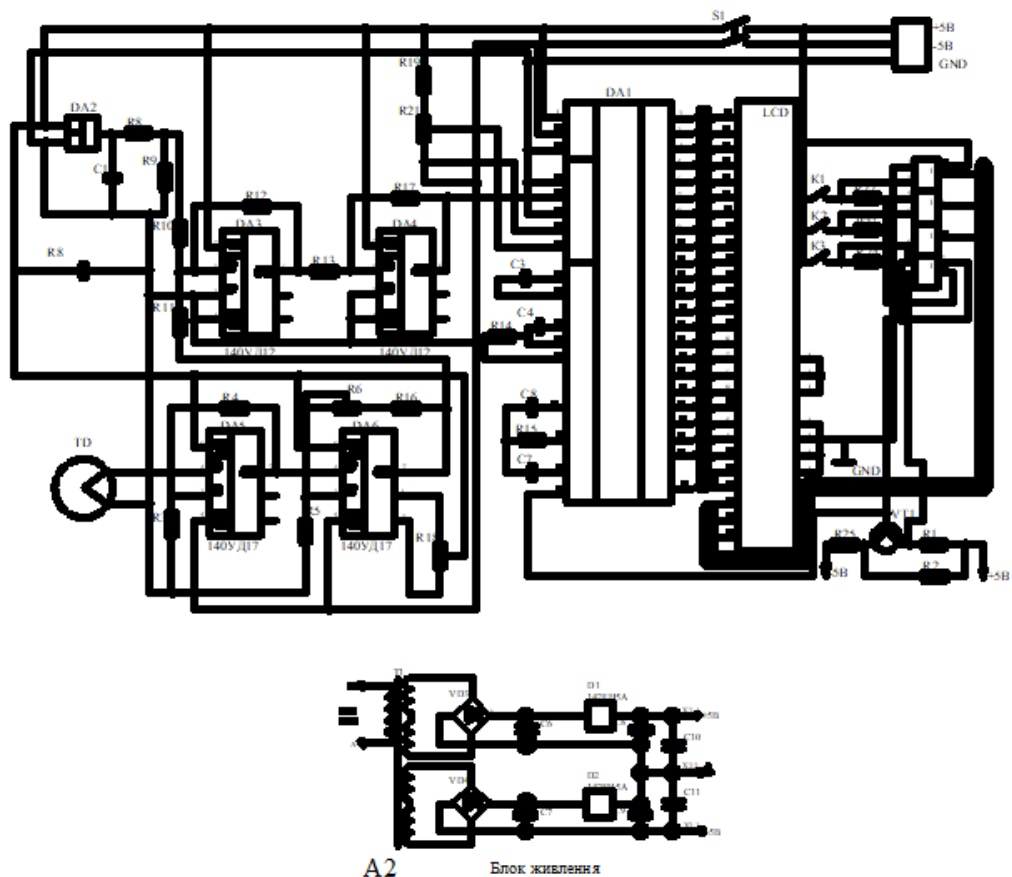


Рисунок 2.9 - Принципова електрична схема пірометра для вимірювання температури обмоток якоря

Як видно зі схеми, вимірювальний радіаційний канал є двохкаскадним прецизійним підсилювачем постійного струму з відповідними колами корекції. Саме використання такого принципу прийому і обробки сигналу зумовлене оптимальним співвідношенням між вихідним опором сенсора, його порівняно невисокою швидкодією ($t_{0,98}=0,5$ с).

З використанням температурного сенсора ТМР-36 з чутливістю 10 мВ/°С виконано термічний вимірювальний канал. На вхід суматора, виконаного на мікропотужному підсилювачі DA1, приходять сигнали з термічного і радіаційного каналу і через повторювач на мікросхемі DA2 обробляються по стандартній методиці, описаній в літературі [28] за допомогою АЦП КР572ПВ5.

Слід зазначити, що таке технічне рішення не претендує на пріоритет в порівнянні з тепловізорами провідних закордонних виробників. Його застосування в даній роботі демонструє те, що на основі розроблених вітчизняних термоелектричних сенсорів і порівняно нескладної схемотехніки можливе налагодження виробництва надійних і простих в експлуатації автономних пристроїв, які є не гіршими за зарубіжні аналоги за характеристиками, а ще й на 1,5 - 2 порядки дешевше.

Розробка дистанційного пристрою сповіщення про локальне підвищення температури різного роду об'єктів була наступним етапом роботи. Зупинимося лише на одному можливому використанні для дистанційного контролю і оповіщення аварійних режимів роботи колекторних електродвигунів електропобутової техніки.

Принцип дії зазначеного пристрою полягає в реєстрації деякого порогового значення електромагнітного випромінювання (інфрачервоного, ультрафіолетового або видимого спектру), що дає змогу фіксувати підвищення температури або навіть відкрите полум'я. На рис. 2.10 представлена принципова електрична схема такого пристрою контролю. В даному випадку спові-

щення про локальне підвищення температури реалізується аналоговим (безадресним) шляхом збільшення струму в шлейфі.

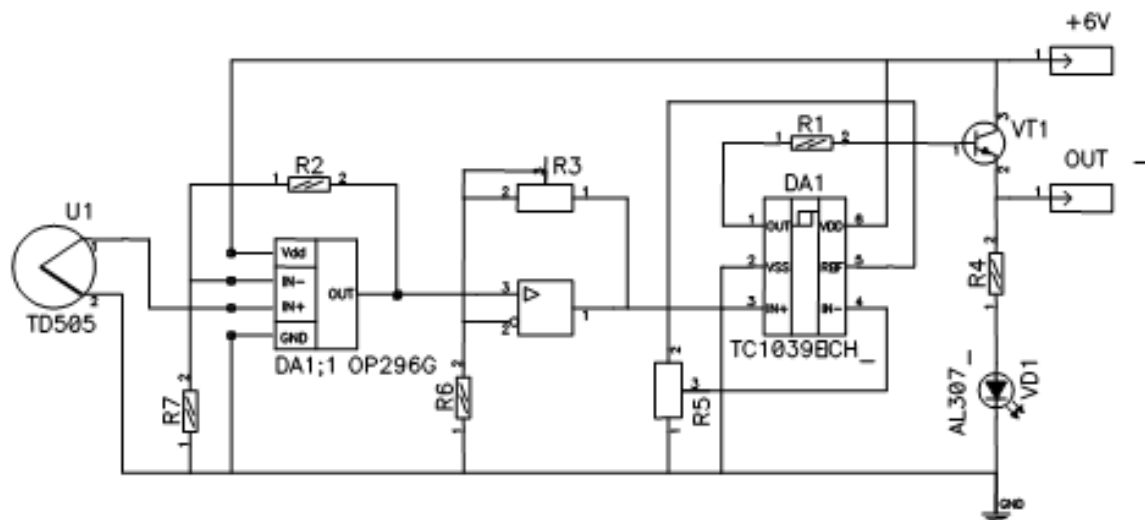


Рисунок 2.10 - Електрична принципова схема пристрою контролю перевищення допустимої температури якоря колекторного електродвигуна

Струм споживання в черговому режимі не перевищує 200 мкА, а в режимі спрацьовування складає до 20 мА.

Термоелектричні плівкові перетворювачі є цілком придатними для розробки і створення пристроїв для дистанційного вимірювання температури в різних областях і мають переваги в порівнянні з традиційними. Низький вихідний опір, неселективність приймачів, відтворюваність характеристик, порівняно невисока собівартість визначають їхню конкурентоспроможність.

2.5.4 Розробка системи для вимірювання струму та напруги

Електрична схема системи для вимірювання струму та напруги зображена на рис.2.11 та на листі [МРМА22.00.00.000Е2].

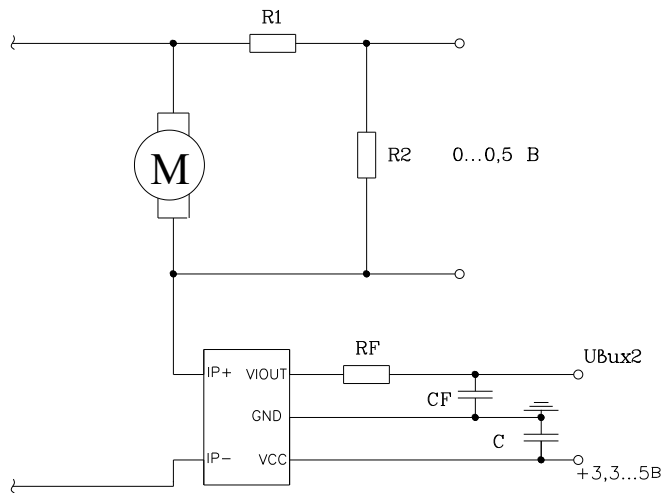


Рисунок 2.11 - Система для вимірювання струму та напруги

2.5.5 Розробка системи для вимірювання частоти обертання головного валу колекторного електричного двигуна

Система для вимірювання частоти обертання головного валу показана на рис.2.12 та на листі [МРМА22.00.00.000С1].

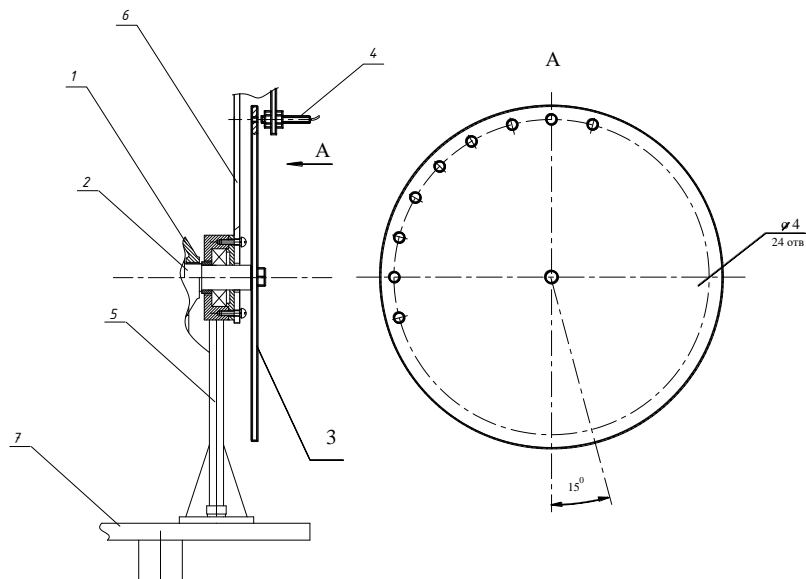


Рисунок 2.12 - Система для вимірювання частоти обертання головного валу колекторного електродвигуна

2.6 Розробка та розрахунок основних вузлів електричної схеми регулятора з тиристорним керуванням

2.6.1 Розробка та розрахунок схеми мостового випрямляча і силового ключа

2.6.1.1 Вихідні дані:

- тип електродвигуна 2ПН90ЛУХЛ4;
- потужність електродвигуна – 340 Вт;
- напруга живлення електродвигуна $U_{жс} = 110В$.

2.6.1.2 Розрахунок схеми мостового випрямляча

Згідно вихідних даних для забезпечення живлення ключа було вибрано діодну зборку VD1 типу КЦ405А із наступними характеристиками (рис.2.11):

- постійна зворотна напруга $U_0 = 600В$;
- пряма напруга при заданому середньому випрямленому струмі $U_n = 4В$;
- середній випрямлений струм $I_n = 1000мА$;
- зворотний струм при зворотній напрузі $I_0 = 125мкА$.

2.6.1.3 Розрахунок силового ключа регулятора

В якості силового ключа VS1 було вибрано тиристор типу КУ202Н із наступними характеристиками (рис.2.11):

- напруга у відкритому стані $U_{oc} = 1,5В$;
- максимальна постійна напруга в закритому стані $U_{зс} = 400В$;

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- відпираюча постійна напруга керування $U_y = 7B$.
- максимальний постійний струм у відкритому стані $I_{oc} = 10A$;
- максимальний постійний струм у закритому стані $I_{zc} = 4mA$;
- час включення/виключення $t = 10\mu c$;

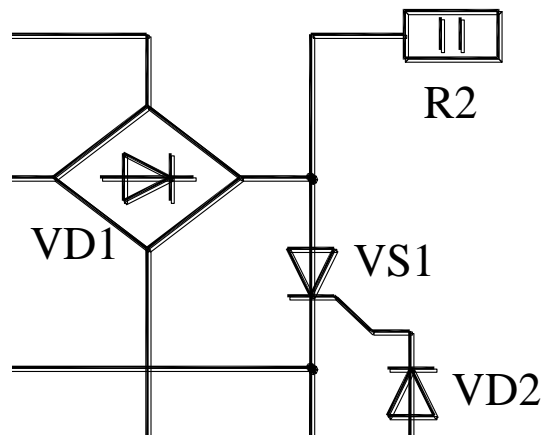


Рисунок 2.11 - Схема силового ключа

2.6.2 Розробка та розрахунок параметричного стабілізатора

Вихідні дані:

- схема параметричного стабілізатора (рис.2.12);
- коефіцієнт стабілізації $\kappa_{cm} \geq 10$;
- напруга стабілізації $U_{ex} = 16B$;
- струм навантаження $I_n = 25mA$;
- відношення зміни струму $\Delta I_n' = \Delta I_n'' = 2mA$;
- відношення зміни вхідної напруги $\frac{\Delta U_{ex}'}{U_{ex}} = \frac{\Delta U_{ex}''}{U_{ex}} = 10\%$.

Було вибрано стабілізатори VD3 та VD4 типу Д814А з наступними характеристиками [11]:

- диференціальний опір $R = 120\Omega$;

- напруга стабілізації $U = 7 \dots 8,5B$;

- мінімальний і максимальний струми стабілізації $I_{\min} \dots I_{\max} = 3 \dots 40mA$;

В подальшому необхідно задатися коефіцієнтом $n_{cm} = 1,4 - 2$.

Було прийнято $n_{cm} = 1,6$.

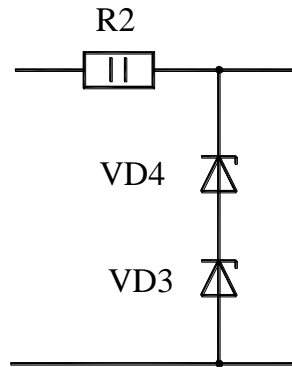


Рисунок 2.12 – Схема параметричного стабілізатора

Необхідна вхідна напруга визначалася за формулою:

$$U_{ex} = n_{cm} U_{вих} \quad (2.1)$$

$$U_{ex} = 1,6 \cdot 16 = 25,6B$$

Опір баластного резистора R_2 при $I_{cm} = 25mA$ визначався за формулою:

$$R_2 = \frac{U_{ex} (U_{cm} - 1)}{I_{cm} + I_n}; \quad (2.2)$$

$$R_2 = \frac{220(1,6 - 1)}{(25 + 25) \cdot 10^{-3}} = 26400Om.$$

Було вибрано резистор $R_2 = 30\text{кОм}$.

Потужність резистора R_2 визначалася за формулою:

$$P_p = I^2 R; \quad (2.3)$$

$$P_p = (50 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 30000 = 1,75\text{Вт}.$$

З довідника було вибрано резистор типу МЛТ-2-30 кОм±5%.

В подальшому було розраховано і підібрано інші елементи електричної схеми.

Електрична схема тиристорного регулятора представлена на рис.2.13 та на листі [МРМА22.00.00.000Е3].

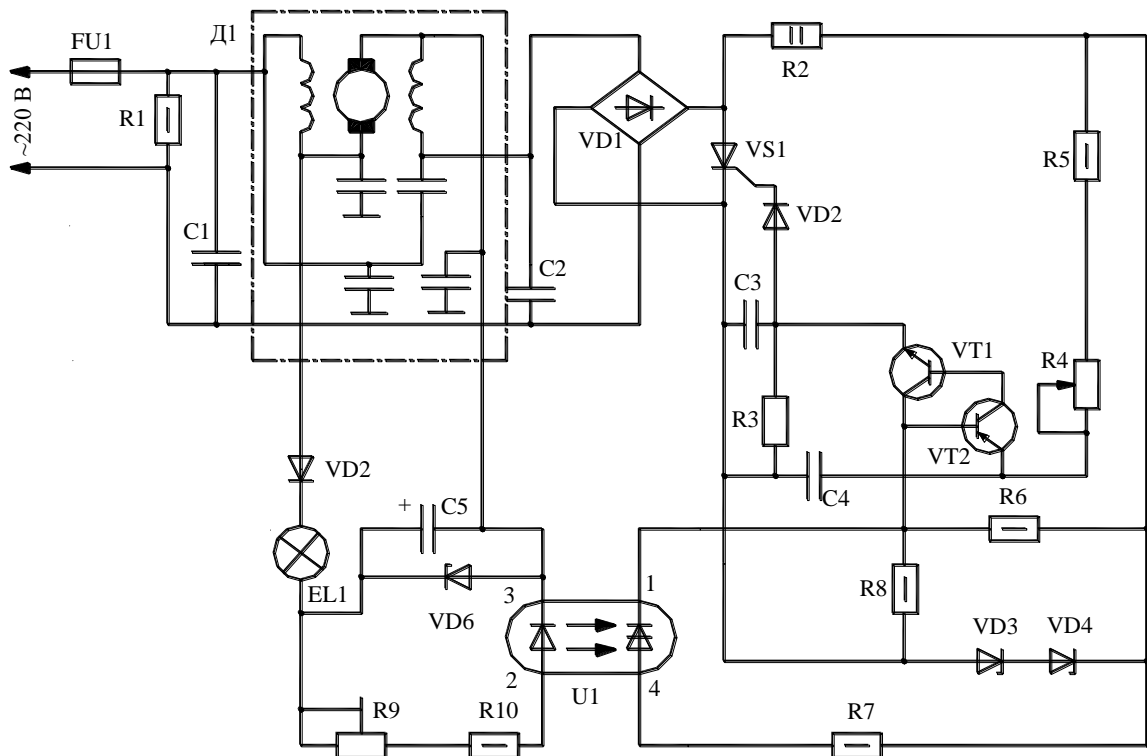


Рисунок 2.13 - Електрична схема регулятора

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

Основою пристрою є фазоімпульсний триністорний регулятор (VS1, VT1, VT2, C4, R4, R5).

Фазозсуваюча ланка складається із конденсатора C4, резистора R5, і змінного резистора R4.

Тривалість часу зарядження конденсатора C4 до напруги $U_{\text{спрац}}$, при якій відкривається аналог одноперехідного транзистора (VT1, VT2), а вслід за ним і триністор VS1, залежить від положення рушія змінного резистора R4. Тривалість зарядження конденсатора при максимальному значенні опору резистора R4 буде найбільшою і найменшою при мінімальному.

Пульсуючою напругою від параметричного стабілізатора, що складається із резистора R2 і стабілітронів VD3, VD4 живиться триністорний регулятор. Захищає пристрій від високочастотних перешкод конденсатор C3, а діод VD2 – управляюче коло триністора від зворотної напруги, що виникає під час перемикання регулятора. Резистор K1 і конденсатори C1, C2 знижують рівень перешкод радіоприйому, які виникають під час працюючого регулятора і електропривода.

Необхідний режим роботи транзисторів VT1, VT2 забезпечують резистори R3, R6 і R8. Паралельно резистору R6 підключений резистор R7, який дозволяє зменшити тривалість імпульсів відкриваючої напруги при відкритті діністора оптрона.

Оптрон U1 – це елемент зворотного зв'язку, що застосований в пристрої для забезпечення відповідності потужності на валу колекторного двигуна змінному моменту навантаження при малій частоті обертання його головного валу. В регуляторах без зворотного зв'язку на малій частоті обертання приводний вал машини обертається «ривками» або прагне піти на більшу, чим потрібно частоту. Крім того, при зрушенні двигуна потрібно створити надлишкову потужність, а це, в свою чергу, приводить до надмірно швидкого

розгону приводного валу машини. Вказаних недоліків дозволяє позбутися ведення зворотного зв'язку на оптроні.

При підвищенні моменту навантаження на вихідному валу колекторного електродвигуна зменшується частота його обертання, а разом з цим зменшується і падіння напруги на якорі. При частоті, рівній нулю, ця напруга не перевищує 10...15 В при будь-якому значенні напруги на вході колекторного електродвигуна.

Параметри елементів електричного кола зворотного зв'язку підібрані таким чином, щоб при загальмованому електродвигуні світлодіод оптрону виключався, а при розгоні включався, а діністор в свою чергу, відкриваючись, підключав паралельно резистору R6 резистор R7. Таким чином, тривалість імпульсів напруги, що відкриває автоматично зменшується, чим підтримується встановлена мала частота обертання. В подальшому тривалість імпульсів напруги, що відкриває, визначається моментом навантаження на вихідному валу електродвигуна і положенням рушія змінного резистора R4. Впливу на роботу регулятора на середніх і високих частотах обертання зворотний зв'язок не здійснює.

Введення лампи накаливання EL1 дозволяє при зміні падіння напруги на колекторі електричного двигуна від 0 до 120 В у вхідному колі оптрону підтримувати струм не більше 40 мА, що не перевищує допустимого. Опір нитки лампи накаливання визначається її температурою і відповідно прикладеною напругою; чим вона більше, тим більше опір.

В регуляторі застосовані конденсатори С1 – МБГО – 1 на номінальну напругу 400В, С2 – МБМ на 750 В, С3 – К73-11 на 250В, С4 – МБМ на 160 В, С5 – К52-1Б, постійні резистори МЛТ; R9 – СПО-0Б15, R4 – СП4 – 2М (СПО - 1). Лампа EL1, розрахована на напругу 220 В та має потужність 15 Вт.

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.7 Розробка конструкції стану для дослідження колекторних електро- двигунів електропобутової техніки

Розроблена конструкція стану для дослідження колекторних електро-
двигунів електропобутової техніки зображена на рис.2.14 та на листі
[МРМА22.00.00СК] [19-22].

Основними вузлами та елементами стану є: тахогенератор 1; електро-
генератор 2; електродвигун 5, пірометр 6; тензобалка 19.

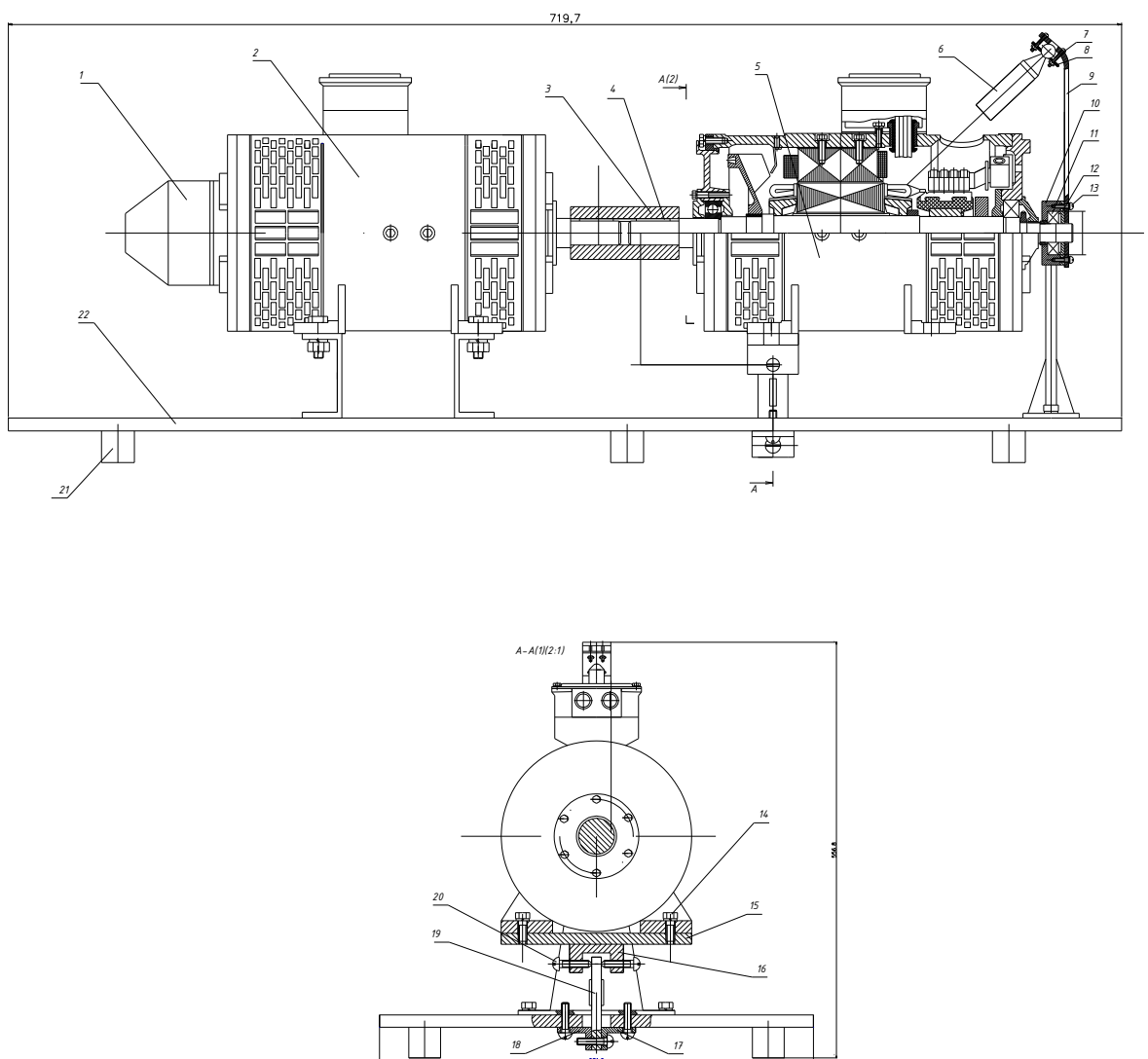


Рисунок 2.14 – Загальний вигляд стану для дослідження колекторних
електродвигунів складнопобутової техніки

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 22.00.00.000 ПЗ

Арк.
68

2.8 Технічні характеристики стенду для дослідження колекторних електродвигунів складнопобутової техніки

Технічні характеристики стенду.

1. Номінальна напруга живлення, В.....110
2. Номінальна потужність двигуна, кВт0,34
3. Максимальна частота обертання, об/хв.....4000
4. Номінальна частота обертання, об/хв.....1060
5. Коефіцієнт корисної дії, %.....67,5
6. Індуктивність якоря, мГн.....64,56.
7. Опір якоря, Ом.....2,83
8. Величина додаткового опору якоря, Ом.....1,7

2.9 Висновки до розділу

В даному розділі було розроблено конструкцію стенду для дослідження колекторних двигунів складнопобутової техніки. Здійснено вибір генератора і електродвигуна, проведено розробку електричної схеми вимірювальної системи стенду. Виконано розробку та розрахунок основних вузлів електричної схеми регулятора з тиристорним керуванням.

3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛЕКТОРНОГО ДВИГУНА ЕЛЕКТРОПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ

3.1 Розрахунок механічних характеристик колекторного електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням

Для отримання теоретичної механічної характеристики колекторного електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням, що підлягає випробуванням на стенді за його паспортними, або довідковими даними складено програму за допомогою програми Mathcad [29-30].

Програма виконує:

- розрахунок для різних режимів гальмівних опорів;
- розрахунок та графічну побудову при додаткових опорах природніх і штучних механічних характеристик.

Нижче приведено приклад розрахунку для електродвигуна 2ПН90ЛУХЛ4 розробленого стенду [26].

Дані електричного двигуна: $U_H = 110$ В, $I_H = 3,3$ А, $P_H = 0,34$ кВт, $R_{я} = 2,85$ Ом, $n_H = 1060$ об/хв, $I_{BH} = 0,31$ А.

Розрахунок гальмівних опорів:

- для режиму динамічного гальмування:

$$R_T = \frac{R_H \cdot \frac{\omega_H}{\omega_0}}{\frac{I_T}{I_H}} - R_{я}, \quad (3.1)$$

- для режиму противключення:

$$R_T = \frac{R_H \cdot (1 + \frac{\omega_H}{\omega_0})}{\frac{I_T}{I_H}} - R_{Я}, \quad (3.2)$$

де $R_H = U_H/I_H$ – номінальний опір двигуна;

$$\omega_0 = U_H/k,$$

$$k = (U_H - I_H \cdot R_{Я})/\omega_{Я}.$$

Підставивши паспортні дані, було отримано:

$$R_H = U_H/I_H = 110/3,3 = 37,3 \text{ Ом};$$

$$\omega_H = \pi \cdot n_H/30 = 3,14 \cdot 1060/30 = 111,003 \text{ рад/с};$$

$$k = (U_H - I_H \cdot R_{Я})/\omega_H = (110 - 3,3 \cdot 2,85)/157 = 0,906;$$

$$\omega_0 = U_H/k = 110/0,906 = 177 \text{ рад/с}.$$

Гальмівний опір для режиму динамічного гальмування при $I/I_H = 2$ буде складати:

$$R_T = \frac{R_H \cdot \omega_H}{\frac{\omega_0}{\frac{I_T}{I_H}}} - R_{Я} = 12,392 \text{ Ом}.$$

При $I/I_H = 2,5$:

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$R_T = \frac{R_H \cdot \omega_n / \omega_0}{I_T / I_H} - R_{Я} = 9,343 \text{ Ом.}$$

Природна механічна характеристика.

Рівняння механічної характеристики має наступний вигляд:

$$\omega = \frac{U}{k} - \frac{M \cdot R}{k^2}; \quad (3.3)$$

$$M = kI; \quad (3.4)$$

$$\omega = \pi \cdot n / 30, \quad (3.5)$$

де $U = U_H$, $R = R_{Я}$.

Підставивши M від 0 до 20 Нм і за теоретичними даними було побудовано графік.

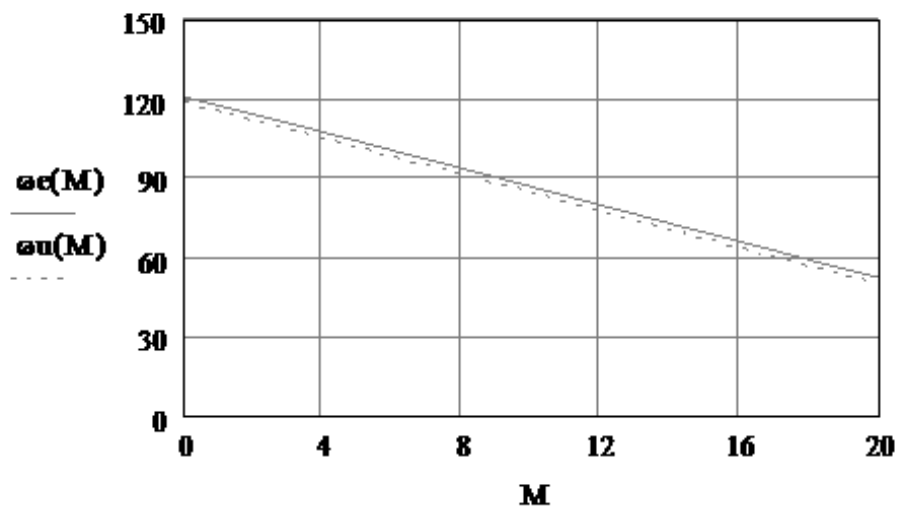


Рисунок 3.1 - Природна механічна характеристика колекторного електродвигуна

Штучна механічна характеристика при додаткових опорах.

Проведемо теоретичний розрахунок при $R_d = 5 \text{ Ом}$.

Рівняння механічної характеристики визначається із рівняння:

$$\omega = \frac{U}{k} - \frac{M \cdot R}{k^2},$$

де $R = R_{я} + R_d$.

Підставивши M від 0 до 20 Нм і за отриманими теоретичними даними будемо графік.

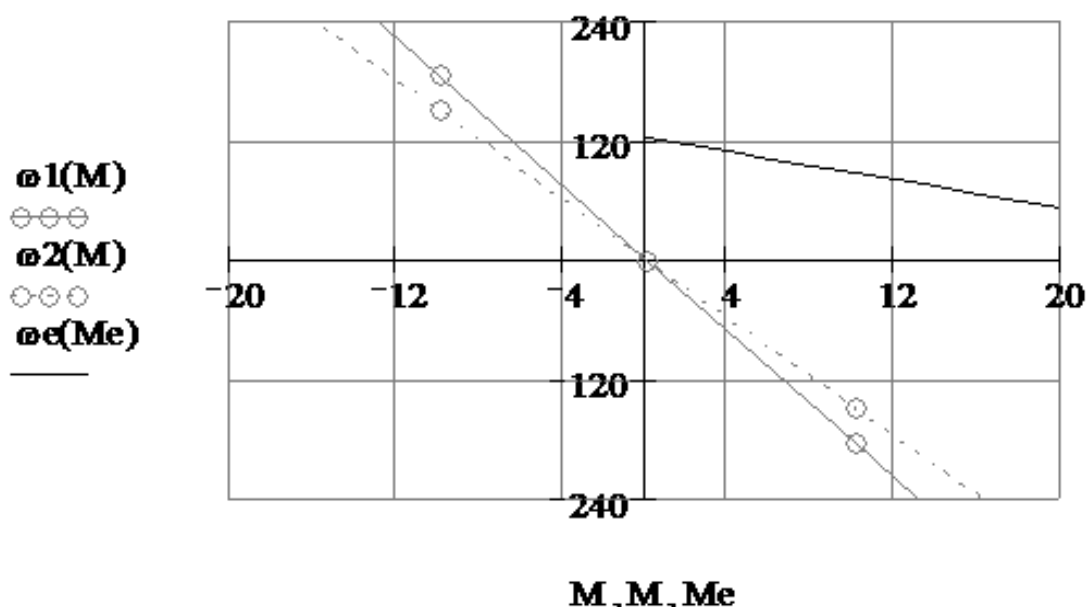


Рисунок 3.2 - Штучна характеристика колекторного електродвигуна при динамічному гальмуванні

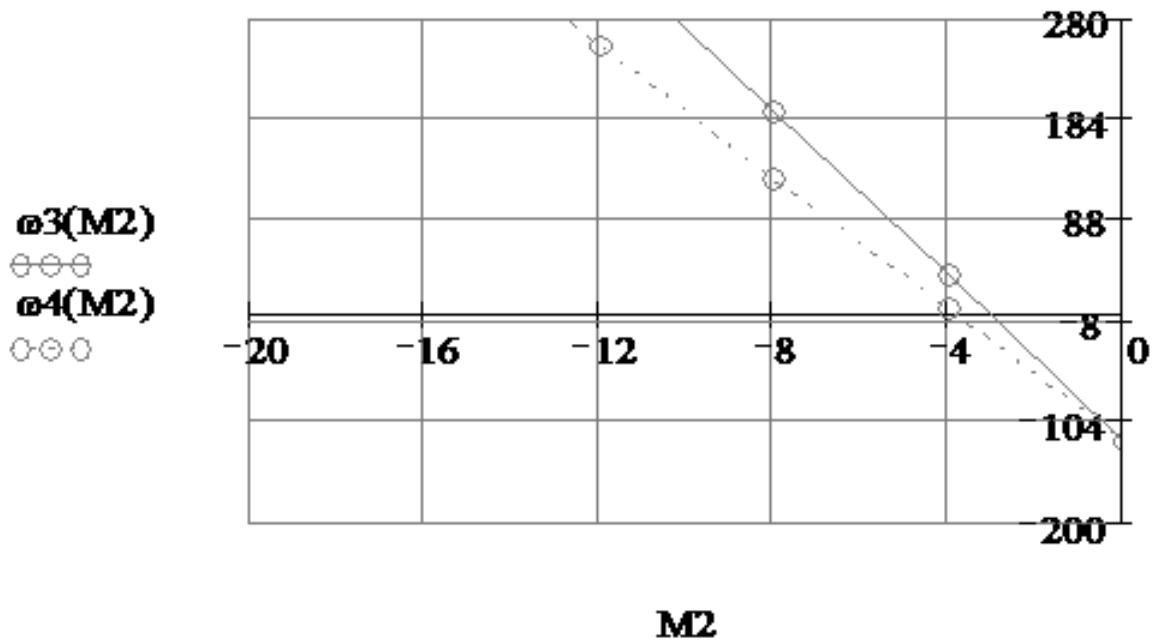


Рисунок 3.3 - Штучна характеристика колекторного електродвигуна при гальмуванні в режимі противключення

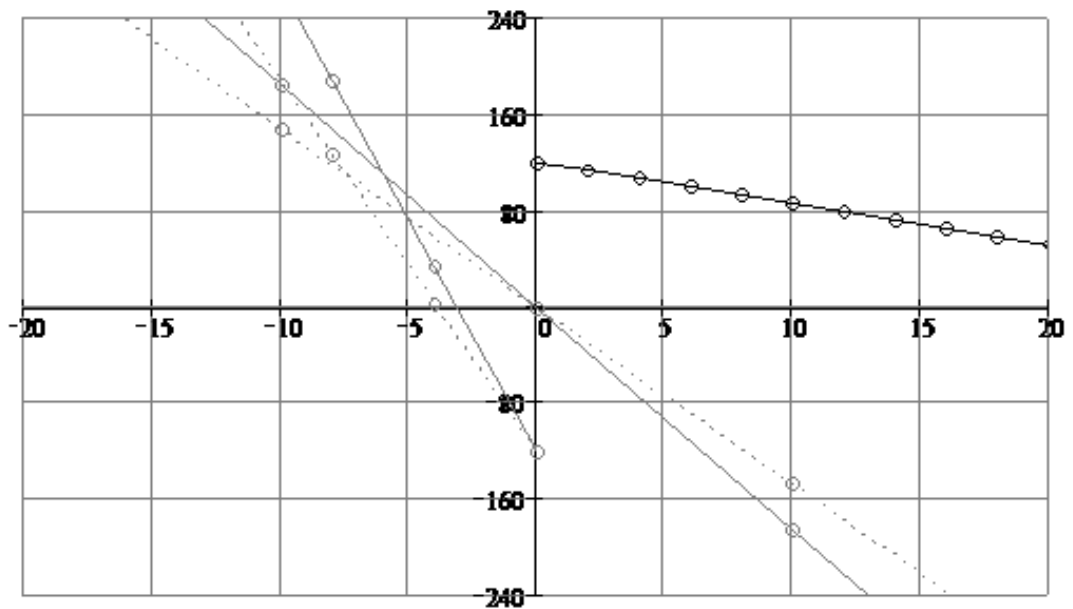


Рисунок 3.4 - Природня і штучні характеристики колекторного електродвигуна

3.2 Проведення досліджень процесу нагрівання якоря електродвигуна

Мета роботи:

- дослідження процесів нагрівання і охолодження колекторного електродвигуна шляхом експерименту;
- перевірка основних теоретичних положень, які відносяться до нагрівання, на підставі результатів експериментальних досліджень.

Втрати енергії в колекторному двигуні електропобутової техніки викликають нагрівання його окремих частин. Допустиме нагрівання двигуна визначається стійкістю до нагрівання ізоляційних матеріалів, що використані (табл. 3.1). Чим більше їхня стійкість, тим при тій же потужності менше розміри електричного двигуна або при тих же розмірах можна збільшити його потужність. Кращому застосуванню двигуна також сприяє більш довершена його система охолодження.

Для двигунів нормується не допустима температура обмотки і інших частин машини, а допустиме перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища.

Рівняння теплового балансу електричного двигуна при незмінному навантаженні має вигляд [31]:

$$Qdt = A \tau dt + Cd\tau, \quad (3.6)$$

де Q - кількість теплоти (потужність втрат в колекторному двигуні), що виділяється у ньому за одиницю часу, Дж/с;

A - тепловіддача електродвигуна, тобто кількість теплоти, що віддається ним у навколишнє середовище за одиницю часу при різниці температур в 1°C , Дж/(с $^\circ\text{C}$);

τ - перевищення температури електричного двигуна над температурою навколишнього середовища $^\circ\text{C}$.

Таблиця 3.1 - Дані гранично допустимих температур нагрівання різних матеріалів

Клас на- грівостій-	Гранично допустима	Матеріал
У	900 °С	Непросочені б/п тканини, папір і волокнисті ма- теріали з целюлози і шовку
А	1050 °С	Такі ж матеріали, але просочені
Е	1200 °С	Деякі синтетичні органічні плівки
У	1300 °С	Матеріали на основі азбесту, слюди і скловоло- кна, що містять органічні зв'язуючі речовини
Ф	1550 °С	Такі ж матеріали, але які просочені синтетич- ними зв'язуючими речовинами.
Н	1800 °С	Такі ж матеріали, просочені органічними зв'я- зуючими речовинами у поєднанні з кремнієм
З	Більше 1800°С	Керамічні матеріали, слюда, скло, кварц азбест, не просочені зв'язуючими речовинами

Перевищення температури визначається за наступною формулою [31]:

$$\tau = \vartheta_{\delta} - \vartheta_{o.c} \quad (3.7)$$

де ϑ_{δ} , $\vartheta_{o.c}$ - відповідно температура електродвигуна і навколишньо-
го середовища °С;

C - теплоємність колекторного двигуна, тобто кількість теплоти, потрібна
для підвищення температури двигуна на 1°С, Дж/°С.

Стале значення перегрівання τ_{δ} визначається наступним співвідношен-
ням:

$$\tau_y = Q / A. \quad (3.8)$$

Розділивши члени рівняння (3.8) на $A dt$, було отримано:

$$\frac{Q}{A} = \tau + \frac{C}{A} \cdot \frac{d\tau}{dt}; \quad (3.9)$$

або

$$\tau + T_n \cdot \frac{d\tau}{dt} = \tau_y, \quad (3.10)$$

де T_n - постійна часу нагрівання двигуна, тобто час, на протязі якого перевищення температури від $\tau=0$ досягло б сталого значення τ_y при $Q=const$ без віддачі теплоти у навколишнє середовище, $T_n=C/A$.

Вирішення рівняння (3.10) для випадку нагрівання:

$$\tau = \tau_y(1 - e^{-t/T_n}) + \tau_0 e^{-t/T_n} \quad (3.11)$$

де τ_y, τ_0 - відповідно кінцеве (стале) і початкове значення перевищення температури електричного двигуна над температурою навколишнього середовища.

Якщо $\tau_0 = 0$, то (3.11) матиме наступний вигляд:

$$\tau = \tau_y(1 - e^{-t/T_n}). \quad (3.12)$$

За формулами (3.11) і (3.12) побудовані криві 1 і 2 нагрівання двигуна відповідно для $\tau_0 > 0$ і $\tau_0 = 0$ при одному і тому ж навантаженні ($Q1=const$), що приведені на рис.3.5. Якщо двигун буде навантажений менше ($Q2 < Q1$), то цьому випадку

відповідає крива 3 за умови, що $\tau_0 = 0$. Якщо зробити припущення, що процес нагрівання відбувається без віддачі теплоти в навколишнє середовище, то перевищення температури його буде змінюватися по лінійному закону (тонкі лінії на рис.3.5 і 3.6). Звідси витікає, що постійна часу нагрівання (охолодження) двигуна буде дорівнювати відрізку, що розміщений між перпендикуляром до вісі абсцис, проведеним через точку дотику дотичною до кривої експоненціальної τ_T та точкою перетину цієї дотичною з асимптотою (на рис.3.5 і 3.6 це вісь ординат) [31].

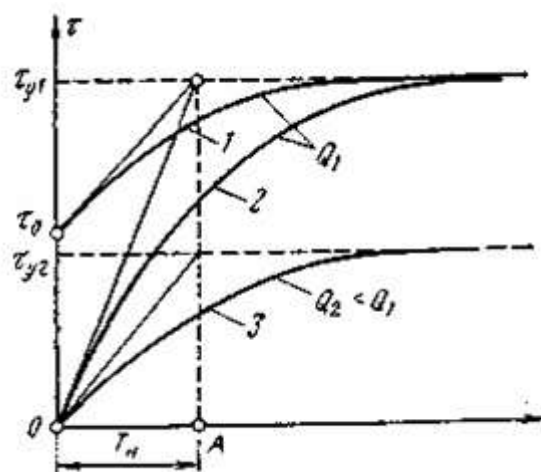


Рисунок 3.5 - Криві нагріву двигуна

Як впливає з (3.11) чи (3.12), час нагрівання двигуна до сталої температури буде рівний безкінечності. Практично нагрівання двигуна можна вважати закінченим, коли перевищення температури його досягне значення 0,95 - 0,98 відповідно через час від початку нагрівання, рівний 3...4 T_n .

У реальних умовах внаслідок тепловіддачі колекторного двигуна за час T_n перевищення його температури досягне значення $\tau = 0,632 \tau_y$, що виходить з (3.12), в якому $t = T_n$:

$$\tau = \tau_0(1 - \bar{a}^{-1}) = 0,632 \tau_0. \quad (3.13)$$

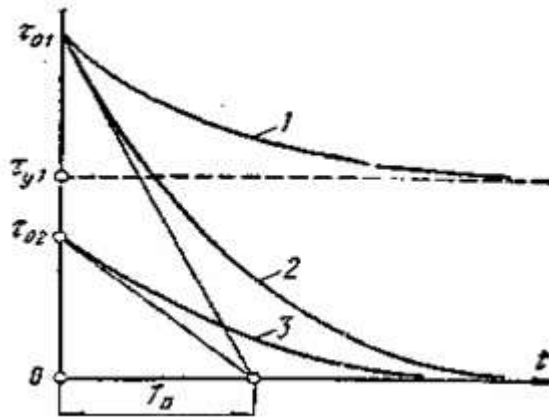


Рисунок 3.6 - Криві охолодження двигуна

Дійсна крива нагрівання дещо відрізняється від експоненти. На початку процесу нагрівання підвищення температури електродвигуна йде швидше, ніж по теоретичній кривій, і починаючи лише з $\tau = (0,5-0,6) \tau_e$ до $\tau = \tau_e$ дійсна крива наближається до експоненціальної.

На рис. 3.6 дані криві, що відображають процес охолодження двигуна. Тут крива 1 відповідає зменшенню навантаження, а криві 2 і 3 – відмиканню двигуна від електромережі [31].

Вирішення рівняння (3.10) для випадку охолодження:

$$\tau = \tau_y(1 - e^{-t/T_0}) + \tau_0 e^{-t/T_0} \quad (3.14)$$

де T_0 – постійна часу охолодження.

Якщо $\tau_e = 0$, то (3.14) прийме вигляд:

$$\tau = \tau_0 e^{-t/T_0} \quad (3.15)$$

При відмиканні колекторного двигуна і його зупинці постійна часу охолодження T_0 виявляється значно більшою, чим нагрівання T_n . Це пояснюється тим, що при зупинці такого двигуна зменшується його тепла віддача.

Постійна часу охолодження колекторного двигуна визначається за формулою:

$$T_0 = \frac{T_n}{\beta_0} , \quad (3.16)$$

де $\beta_0 = A_0 / A$ - коефіцієнт погіршення теплової віддачі при нерухомому якорі (роторі);

A_0, A - тепловіддача відповідно при нерухомому електродвигуні і номінальній кутовій швидкості [31].

Зразкові значення коефіцієнта β_0 для двигунів різного виконання показані нижче:

- виконання двигуна β_0 ;
- закритий з незалежною вентиляцією 1;
- самовентильований захищений. 0,25 - 0,3;
- закритий без примусового охолодження 0,95 - 0,98;
- закритий самовентильований. 0,45 - 0,55.

Величину постійною охолодження можна знайти, використовуючи криву охолодження, що приведена на рис. 3.6, якщо провести дотичну до неї до перетину з асимптотою.

Величину T_0 визначає відрізок, розміщений, між точкою перетину на асимптоті і перпендикуляром, проведеним через точку дотику.

Щоб отримати дані за якими може бути побудована крива нагрівання і визначена постійна часу нагрівання електричного двигуна, потрібно у працюючому під навантаженням електродвигуні вимірювати в часі температуру

нагрівання його обмотки. Вимірювання температури нагрівання обмоток якоря колекторного електродвигуна здійснюється безконтактним пірометром.

З цією метою в корпусі електродвигуна, що досліджується з боку колектора виготовлено вікно з метою можливості оптичного (візуального) доступу до обмотки якоря.

Стенд для зняття даних кривої нагрівання складається з двигуна, що досліджується, машини навантаження (генератора постійного струму), реостата навантаження r_n і контрольно-вимірювальних приладів, що з'єднуються між собою по схемі рис. 2.1.

Дослід проводиться при постійному навантаженні колекторного двигуна, що досліджується, близькому до номінальної в руховому режимі. Аналогічно отримують дані для побудови кривої охолодження після відмикання двигуна від електричної мережі.

Температура перегрівання двигуна t визначається за формулою (3.7).

По отриманим даним будується крива $f(t)$.

3.3 Порядок виконання роботи

1. Вивчити лабораторну установку для дослідження колекторного двигуна, ознайомитися з вимірювальними приладами, що використовуються під час експериментальних досліджень і правилами користування ними.

2. Зняти і побудувати криву нагрівання електродвигуна при його роботі в тривалому режимі з постійним навантаженням, що рівне номінальному.

3. Зняти дослідним шляхом і побудувати криву охолодження двигуна, що не працює.

4. Визначити постійні часу нагрівання і охолодження. З цією метою необхідно отримати функції кривих нагрівання і охолодження, взяти їхні по-

хідні в точках і знайти точки перетину дотичних з віссю часу. Провести їх порівняння між собою і пояснити причину їхньої розбіжності.

5. Скласти звіт з лабораторної роботи, який повинен вміщувати:

- програму роботи; схему самої лабораторної установки;
- паспортні дані різної електропобутової техніки з колекторним двигуном в якості приводу і вимірювальних приладів, що використовуються;
- таблицю дослідних даних;
- графіки процесів нагрівання і охолодження колекторного електродвигуна;
- висновки по дослідженню теплових процесів двигуна.

3.4 Висновки до розділу

Розроблені методологія дослідження колекторного двигуна електропобутової техніки, що містить в собі:

- розрахунок механічних характеристик колекторного електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням;
- проведення досліджень процесу нагрівання якоря двигуна;
- порядок виконання роботи.

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В першому розділі здійснюється аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. Приводяться загальні відомості про електричні двигуни. Наводиться будова та принцип роботи колекторного електродвигуна. Розглядаються основні показники, які необхідно врахувати при проєктуванні та дослідженні електроприводу, Здійснюється огляд та аналіз різних засобів безконтактного вимірювання температури та схем по регулюванню частоти обертання електродвигунів.

На основі проведеного огляду визначаються задачі, які необхідно вирішити в магістерській роботі.

В другому розділі розроблено конструкцію стенду для дослідження колекторних електродвигунів електропобутової техніки. З цією метою проведено вибір електродвигуна і генератора, здійснено розробку електричної схеми вимірювальної системи стенду для досліджень. Проведено розробку та розрахунок основних вузлів електричної схеми регулятора з тиристорним управлінням.

Розроблена методологія дослідження колекторного двигуна електропобутової техніки, що включають в себе:

- розрахунок механічних характеристик колекторного електродвигуна;
- проведення досліджень процесу нагріву якоря електродвигуна;
- порядок виконання роботи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Перетяка Н.О., Коломієць Л.В., Боряк К.Ф., Резнік К.В., Возна Г.М. Енергоефективна побутова техніка в готельних комплексах. Навчальний посібник. – Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2019. – 250с.
2. Що таке електродвигун [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://elprivod.nmu.org.ua/ua/entrant/electricmotor.php?print=Y>
3. Будова та принцип дії колекторного двигуна [Електронний ре-сурс]. Режим доступу: <http://disted.edu.vn.ua/courses/learn/1878>.
4. Будова та принцип дії колекторного двигуна [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.tantal.com.ua/archives/156..>
5. Донець О. В. Теорія електропривода : конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / В. І. Колотіло, О. В. Донець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
6. Циценков Д.В. Проектування електричних машин : навч. посіб. / Д.В. Циценков, О.Б Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 408 с.
7. Воскобойник В.Е. Основи електропривода виробничих машин та комплексів [текст]: навч. посіб. / В.Е. Воскобойник, В.А. Бородай, Р.О. Боровик, О.Ю. Нестерова – Д.: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 2021. – 254с.
8. Автоматизовані електромеханічні системи : конспект лекцій / укладачі : Черв'яков В. Д., Леонт'єв П. В., Соколов С. В. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 253 с.
9. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 839 с.

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк. 84
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

10. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: Учебник для вузов – М.: Энергия, 1980. – 928с.

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

12. Электропривод: Підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко; За ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: Ліра, 2009. – 504с.

13. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Основы электропривода. Теория та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.

14. Фрунзе А.В., Латышенко К.П. Измерение температуры пирометрами. Учебное пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2022. – 248с.

15. Пирометр – что это такое и для чего нужен? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.0412.ua/list/148739>.

16. Геращенко О.А. Тепловые и температурные измерения. Справочное руководство. К.: Накова думка, 1965, 304 с.

17. Методи регулювання частоти обертання двигунів. Методи регулювання частоти обертання асинхронних двигунів. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://biathlonmordovia.ru/uk/the-motor/methods-for-regulating-the-engine-speed-methods-for-regulating-the-speed-of-induction-motors/>.

18. Осташевський М.О. Електричні машини і трансформатори: навч. посіб. для студ. ВЗО / М.О. Осташевський, О.Ю. Юр'єв ; ред. В.І. Мілих . – К. : Каравела, 2018 . - 452 с.

19. Решетов В.М. Детали машин. Учебник для механических и машиностроительных специальностей ВУЗов. -4 изд. - М.: Машиностроение, 1989 - 496с.

20. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для ВУЗов. – 2-е изд.: перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 1983. – 237с.

21. Чернавский С.А., Ицкович Г.М., Боков К.Н. Курсовое проектирование машин: Учебное пособие для студентов мех. спец. ВУЗов. – М.: Машиностроение, 1983. – 341с.

22. Інженерне проектування обладнання галузі: методичні вказівки до вивчення дисципліни для студентів спеціальностей «Галузеве машинобудування», «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / С. В. Смутко. – Хмельницький: ХНУ, 2016. – 56 с.

23. Микроэлектронные устройства автоматики: справочное руководство для ВУЗов / А.А. Сазонов, А.Ю. Лукичев, В.Т. Николаев и др.; Под. ред. А. А. Сазонова.- М.: Энергоиздат, 1991. - 384 с.

24. Бахтияров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи /Под ред. Г. Д. Бахтиярова. – М.: Радио и связь, 1980 – 280с.

25. Коломбет Е.А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов. – М.: Радио и связь, 1991. – 376 с.

26. Электродвигатель 2ПН90L. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://energo1.com/catalog/elektrodvigateli_postoyannogo_toka/elektrodvigateli_postoyannogo_toka_serii_2p/elektrodvigateli_serii_2pn/14411/.

27. Фигурнов Э., Мрыхин С. Инфракрасный термометр // Радио.- 1981.- Вып. 5.- 3. С. 18-20.

28. Бирюков С. Применение АЦП КР57211В5 // Радио.- 1998.- Вып. 8.- С. 62.

29. Гурский Д. Mathcad для студентов и школьников. – С.П.: Питер, 2005 – 400с.

30. Любимов Э.В. Mathcad. Теория и практика проведения электротехнических расчетов в среде Mathcad и Multisim. – К.: Наука и техника, 2021. – 400с.

31. Нагрівання і охолодження двигунів. Теплова модель двигуна. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://stud.com.ua/84230/tehnika/nagrivannya_oholodzhennya_dviguniv_teplova_model_dviguna.

ДОДАТОК А

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

					МРМА 22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		