

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГОТЕХНІКИ ТА АВТОМАТИКИ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

В.Ф.Шинкаренко

«16» жовтня 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

на тему: «Сервісний автомобільний двигун постійного струму»

Виконав:
студент VI курсу, групи ЕМ-81мп
Крамар Андрій Олександрович

Керівник:
Доц., к.т.н.
Чумак В.В.

Рецензент:
Доц., к.т.н.
Теряев В.І.


Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент

Київ – 2019

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра електромеханіки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою магістра
Напрямок підготовки (програма професійного спрямування)-6.050702 -
«Електромеханіка» («Електричні машини і апарати»)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри
В.Ф. Шинкаренко
«05» 10 2018 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту
Крамару Андрію Олександровичу

1. Тема роботи «Сервісний автомобільний двигун постійного струму»

керівник роботи Чумак Вадим Володимирович, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «15» листопада 2019 р. № 3923-С

2. Термін подання студентом роботи 01 «грудня» 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи : корисна потужність на валу 10 Вт, напруга на затискачах машини 12 В, швидкість обертання 3700 об/хв.

4. Зміст роботи 1.Вступ; 2.Оглядовий розділ; 3.Вибір обмірковування та опис конструкції; 4.Електромагнітний розрахунок; 5.Тепловий розрахунок; 6.Дослідження способів регулювання частоти обертання двигуна постійного струму з постійними магнітами; 7.Стартап проект; 8.Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо.): презентація, 3 плакати формату А1.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 01 «жовтня» 2018 _____

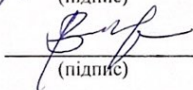
Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	08.12.18	<i>В.В.Ч</i>
2	Оглядовий розділ	16.02.19	<i>В.В.Ч</i>
3	Вибір, обміркування та опис конструкції	24.03.19	<i>В.В.Ч</i>
4	Електромагнітний розрахунок	29.05.19	<i>В.В.Ч</i>
5	Тепловий розрахунок	16.06.19	<i>В.В.Ч</i>
6	Дослідження способів регулювання швидкістю двигуна	18.07.19	<i>В.В.Ч</i>
7	Розроблення моделі двигуна в середовищі Matlab Simulink	06.10.19	<i>В.В.Ч</i>
8	Стартап проект	12.11.19	<i>В.В.Ч</i>
9	Висновок	24.11.19	<i>В.В.Ч</i>
10	Оформлення роботи	02.11.19	<i>В.В.Ч</i>

Студент


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

А.О. Крамар
(ініціали, прізвище)

В.В. Чумак
(ініціали, прізвище)

*Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи

**Пояснювальна записка
до магістерської дисертації**

на тему: **Сервісний автомобільний двигун постійного збудження.**

Київ – 2019 року

Реферат

В даній дипломній роботі проведений розрахунок сервісного двигуна постійного струму з збудженням від постійних магнітів, призначений для використання в моторедукторі автомобільного склоочисника.

В роботі було проведено електромагнітний розрахунок, розрахунок робочих характеристик, тепловий розрахунок двигуна постійного струму, з покращенням характеристик над двигуном прототипом.

Об'єктом дослідження є двигун постійного струму з постійними магнітами для моторедуктора склоочисника легкового автомобіля.

Предметом дослідження є робочі, механічні та швидкісні характеристики ДПС. Метою роботи є вдосконалення електродвигуна прототипу та покращення його динамічних характеристик.

Спроектована машина відповідає вимогам техніко-економічної ефективності.

Данні про об'єм роботи:

- Кількість рисунків 36;
- Кількість таблиць 25;
- Кількість джерел використаної літератури 9.

Магістерська дисертація виконана українською мовою.

Abstract

This diploma paper presents the calculation of service DC motor with excitation from permanent magnets, intended for use in the motor reducer of car windshield wiper.

In the work were done electromagnetic calculation, the calculation of performance, thermal calculation of the DC motor, with improved performance over the engine prototype.

The object of the study is a DC motor with permanent magnets for a car windshield wiper motor.

The subject of the study is the performance, mechanical and speed characteristics of the motor.

The purpose of the work is to improve the prototype electric motor and to improve its dynamic characteristics.

The designed machine meets the requirements of technical and economic efficiency.

Workload data:

- Number of drawings 36;
- Number of tables 25;
- Number of sources of literature used 9.

The master's thesis is in Ukrainian.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1. ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ	12
1.1. Застосування сервісних електричних двигунів в автомобілях.	12
1.2. Типові приклади застосування сервісних двигунів.....	15
1.3. Вибір та опис механізму для сервісного двигуна.....	17
2. ВИБІР, ОБМІРКОВУВАННЯ ТА ОПИС КОНСТРУКЦІЇ	21
2.1. Опис конструкції моторредуктора.	21
2.2. Оболонка двигуна.	24
2.3. Статор.....	25
2.4. Ротор.	25
2.5. Колектор та щітки.....	26
3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ РОЗРАХУНОК	28
3.1. Вибір основних розмірів електродвигуна.	28
3.2. Обмотка якоря.....	30
3.3. Розрахунок зубців, пазів і провідників обмотки якоря.....	32
3.4. Розрахунок колектора та щіток.	36
3.5. Розрахунок магнітної системи двигуна.....	40
3.6. Розрахунок втрат та КПД.	53
3.7. Розрахунок робочих характеристик.	56
3.8. Розрахунок механічної та швидкісної характеристик.	59
4. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК	61
4.1. Перевищення температури якоря двигуна.	61
4.2. Перевищення температури колектора двигуна.	62
5. ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ	63
5.1. Регулювання імпульсною напругою живлення.....	63
5.2. Регулювання частоти обертання зміною положення щіток.....	75
5.3. Вибір способу регулювання.....	79
6. СТАРТАП ПРОЕКТ	80
ВИСНОВОК	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	95

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ДПС – двигун постійного струму;

К.С.– кінські сили;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

ПМ – постійний магніт;

ТП – тиристорний перетворювач;

РШ – регулятор швидкості;

ЕРС – електрорушійна сила;

МРС – магніторушійна сила.

ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості, сільського господарства, транспорту і нових галузей науки і техніки визвало широке застосування автоматизованих систем керування різними процесами і виконавчими механізмами. Будь-яка автоматизована система керування немислима без різноманітного використання різних малопотужних електродвигунів постійного і змінного струму в діапазоні потужності від одного до сотень ват. Найголовнішими з областей застосування мікродвигунів є наступні:

- установки автоматичного керування і регулювання в промисловості та в спец техніці;
- пристрої телекомунікацій та радіозв'язку;
- гіроскопічні прилади;
- літаки, автомобілі та інші транспортні засоби;
- вентилятори, електроінструмент, сирени і другі пристрої;
- дрібні електромеханізми в сільському господарстві;
- домашні побутові установки;
- годинникова промисловість.

В таких установках, в залежності від їх призначення застосовуються малопотужні електродвигуни і генератори постійного струму, обертові перетворювачі, електромашинні підсилювачі, універсальні колекторні двигуни, синхронні реактивні і гістерезисні двигуни, асинхронні двигуни.

Проектований сервісний автомобільний двигун постійного струму призначений для приводу моторедуктора заднього склоочисника легкового автомобіля. Виходячи із специфіки призначення двигуна, до нього пред'являється ряд вимог по збільшенню надійності, спрощенню конструкції, зменшенню масо-габаритних параметрів, збільшенню ККД. В основному такі вимоги задовольняє двигун постійного струму зі збудженням від постійних магнітів.

Специфікою конструкції являється використання в якості системи збудження постійних магнітів, що дозволяє:

- спростити конструкцію машини і зменшити її масо-габаритні показники за рахунок відсутності котушок збудження;
- підвищити ККД машини завдяки відсутності втрат на збудження;
- зменшити нагрів машини в порівнянні з машинами електромагнітного способу збудження.

Ціллю дипломного проекту являється розрахунок всього електродвигуна постійного струму, який застосовується для приводу склоочисного механізму.

Ціль роботи: модернізація сервісного двигуна постійного струму з збудженням від постійних магнітів, з покращенням його динамічних характеристик.

Для досягнення поставленої цілі були вирішені наступні задачі: електромагнітний розрахунок, розрахунок робочих характеристик, тепловий розрахунок, виконані креслення.

Об'єкт дослідження: сервісний двигун постійного струму з збудженням від постійних магнітів

Предмет дослідження: вдосконалення електродвигуна прототипу з метою покращення його динамічних характеристик.

Практичне значення: в даній дипломній роботі проведено розрахунки, які можуть бути передані в подальшому на підприємства для серійного виробництва сервісного двигуна постійного струму з збудженням від постійних магнітів для механізму моторедуктора склоочисника автомобіля.

1. ОГЛЯДОВИЙ РОЗДІЛ.

1.1. Застосування сервісних електричних двигунів в автомобілях.

Тенденції розвитку різних систем автомобіля, пов'язані з підвищенням економічності, надійності, комфорту і безпеки руху, призводять до того, що роль електрообладнання, зокрема, електроприводу допоміжних систем, неухильно зростає. Якщо 25 ÷ 30 років тому на серійних автомобілях практично не зустрічалося механізмів з електродвигунами, то в даний час навіть на вантажних автомобілях встановлюється мінімум 3 ÷ 4 електродвигуна, а на легкових - 5 ÷ 8 і більше, в залежності від класу.

Досліджено, що у сучасних автомобілях існує досить велике різноманіття електричних машин як за будовою так і за принципом дії. Електричні машини у автомобілях поділяються на дві групи. Перша група – це джерела електричної енергії: генератори. Друга група - споживачі – це приводні електричні машини різноманітних систем автомобіля. В даній роботі буде розроблятися машина саме з другої групи, а саме сервісний автомобільний двигун постійного струму.

Переваги електродвигунів постійного струму автомобільного призначення - в компактності і великому моменті з найменших оборотів, недоліки - в обмеженій потужності і моменті, а також в наявності колекторно-щіткового вузла, який має обмежений ресурс.

Серед різновидів двигунів постійного струму (ДПС), основними є такі: ДПС з електромагнітним збудженням, ДПС з постійними магнітами, крокові двигуни, лінійні двигуни (електромагніти). Електродвигуни з електромагнітним збудженням поступово витісняються електродвигунами з збудженням від постійних магнітів.

У сучасних автомобілях сервісні електродвигуни можуть застосовуватись для забезпечення роботи широкому спектру механізмів. Оскільки в 12-вольтній мережі звичайного автомобіля використовується постійний струм, то і двигуни на його борту - постійного струму. Це в першу чергу потужний (іноді більше 1 к.с.) електродвигун стартера, привід електропідсилювача керма, "движки", що призводять в обертання вентилятори радіатора і кліматичної установки, склоочисники. Маленькі двигуни

заховані в актуаторах центрального замка, в приводах дзеркал, сервомеханізмах регулювання сидінь і керма, в насосі омивача.

Більш потужні електродвигуни постійного струму приводять в дію склоочисники, вентилятори клімату і радіаторів

Номінальні потужності електродвигунів повинні відповідати нормалізованому ряду 6; 10; 16; 25; 40; 60; 90; 120; 150; 180; 250; 300 Вт. В залежності від умов електродвигуни можуть бути розраховані для роботи у тривалому, короткочасному або повторно- короткочасному режимах.

Тривалий режим характеризується такою тривалістю, при якій за час роботи двигуна температура всіх пристроїв електропривода досягає сталого значення. Як приклад механізмів з тривалим режимом роботи можна назвати опалювачі і вентилятори салону автомобіля.

При короткочасному режимі робочий інтервал відносно короткий і температура двигуна не встигає досягти сталого значення. Перерва в роботі виконавчого механізму достатня для охолодження двигуна до температури навколишнього середовища. Такий режим роботи характерний для механізмів підйому стекол, антен, переміщення сидінь і ін.

При повторно-короткочасному режимі робочий інтервал часу чергується з паузами (зупинка або холостий хід), причому, ні в один з інтервалів роботи температура двигуна не досягає усталеного значення, а під час зняття навантаження двигун не встигає охолонути до температури навколишнього середовища. У такому режимі можуть працювати склоочисники, склообмивачі і інші механізми.

Вимоги, що пред'являються до електродвигунів, що встановлюються в тому чи іншому вузлі автомобіля, відрізняються особливою специфікою і обумовлені режимами роботи цього вузла. При виборі типу двигуна необхідно зіставити умови роботи приводу з особливостями механічних характеристик різних видів двигунів.

Прийнято розрізняти природну і штучну механічні характеристики двигуна. Перша відповідає номінальним умовам його включення і відсутності будь-яких додаткових елементів в ланцюгах двигуна. Штучні характеристики отримують зміною

напруги на двигуні, включенням додаткових елементів в ланцюг, застосуванням спеціальних схем включення двигуна.

Одним з перспективних напрямків у розвитку допоміжних систем автомобіля є застосування електродвигунів потужністю до 100 Вт із збудженням від постійних магнітів. Застосування постійних магнітів дозволяє значною мірою підвищити техніко-економічні показники електродвигунів: зменшити масу, габарити, підвищити ККД, надійність і довговічність. Завдяки незалежному збудженню електродвигуни з постійними магнітами можуть бути реверсивними.

Типова конструкція електродвигуна з постійними магнітами, що застосовується в опалювачі, приведена на рис.1.1.

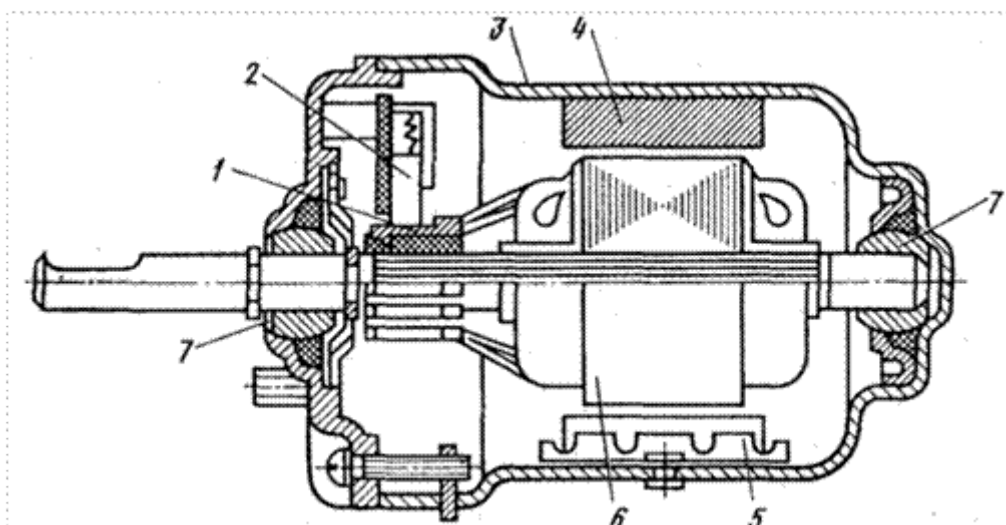


Рис.1.1. Електродвигун з постійними магнітами.

Постійні магніти 4 закріплені в корпусі 3 за допомогою двох сталевих плоских пружин 5, прикріплених до корпусу. Якорь 6 електродвигуна обертається в двох самоустановлювальних підшипниках ковзання 7. Графітні щітки 2 притискаються пружинами до колектора 1, виконаному з смуги міді і профрезерований на окремі ламелі.

Обертаючий момент створюється за рахунок взаємодії магнітних полів якоря і статора. Так як поле статора створюється постійним магнітом, то при розрахунку двигуна дуже важливим є правильний вибір об'єму магніту, що забезпечує не тільки робочий режим електродвигуна, а й стабільність процесі експлуатації. В

автомобільних електродвигунах використовуються магніти з гексаферриту барію 6БИ240, М6БИ230Ж і ін.

1.2. Типові приклади застосування сервісних двигунів.

1.2.1. Електродвигуни передпускових підігрівачів

Призначення електродвигунів цього типу - подача повітря для підтримки процесу горіння в бензинових нагрівачах, подача повітря, палива і забезпечення циркуляції рідини в дизелях. Особливістю експлуатації є низька температура навколишнього середовища. При низьких температурах необхідно розвивати великий пусковий момент і функціонувати нетривалий час. Таким вимогам найбільш повно задовольняють двигуни постійного струму з послідовним збудженням. Режим роботи - короткочасний і повторно-короткочасний. Залежно від температурних умов тривалість включення електродвигуна може становити:

- при температурі - 5 ÷ - 10 °С не більше 5 хв;
- при температурі - 10 ÷ -25 °С не більше 30 хв;
- при температурі -25 ÷ -50 °С не більше 50 хв.

Широке застосування в передпускових підігрівачах знайшли електродвигуни ME252 (24 В) і 32. 3730 (12 В). Вони мають номінальну потужність 180 Вт, частоту обертання 6500 об/хв.

1.2.2. Електродвигуни для приводу вентиляційних і опалювальних установок.

Опалювальні та вентиляційні установки призначені для обігріву та вентиляції салонів легкових автомобілів, автобусів, кабін вантажних автомобілів і тракторів. Їх дія заснована на використанні тепла ДВЗ, а продуктивність в значній мірі залежить від характеристик електродвигуна. Режим роботи електродвигунів - тривалий, температура навколишнього середовища від -40 до +70 °С. Збудження - від постійних магнітів. Зазвичай це одно- або двошвидкісні двигуни.

Крім опалювальних установок, що використовують тепло ДВЗ, знаходять застосування опалювальні установки незалежного дії. У цих установках електродвигун, який має два виходи валу, який приводить в обертання два вентилятора, причому, один направляє холодне повітря в теплообмінник, а потім в салон автомобіля, а інший подає повітря в камеру горіння.

Використовувані в ряді моделей легкових і вантажних автомобілів електродвигуни опалювачів мають номінальну потужність $25 \div 35$ Вт і номінальну частоту обертання $2500 \div 3000$ об/хв.

1.2.3. Електродвигуни для приводу склоочисних установок.

До електродвигунів, що застосовуються для приводу склоочисників, пред'являються вимоги забезпечення жорсткої механічної характеристики, можливості регулювання частоти обертання при різних навантаженнях, підвищеного пускового моменту. Це пов'язано зі специфікою роботи склоочисника - надійної і якісної очистки поверхні вітрового скла в різних кліматичних умовах.

Для забезпечення необхідної жорсткості механічної характеристики використовуються двигуни з порушенням від постійних магнітів, з паралельним і змішаним збудженням, а для збільшення моменту і зниження частоти обертання використовується спеціальний редуктор. У деяких електродвигунах редуктор виконаний як складова частина електродвигуна. В цьому випадку електродвигун називають моторредуктором.

Зміна частоти обертання якоря електродвигуна з порушенням від постійних магнітів досягається установкою додаткової щітки і реалізацією переривчастого режиму роботи.

Для організації короткочасного включення склоочисника система управління електродвигуном може доповнюватися електронним регулятором тактів, який через певні проміжки часу автоматично вимикає електродвигун склоочисника на один - два такту. Інтервал між зупинками склоочисника може змінюватися в межах від 2 до 30 с.

Більшість моделей електродвигунів склоочисників мають номінальну потужність $12 \div 15$ Вт і номінальну частоту обертання $2000 \div 3000$ об / хв.

1.2.4. Стартер

Двигуни внутрішнього згорання, що встановлюються на автомобілях, не мають пускового моменту. Для початку самостійної роботи такого двигуна необхідно надати йому певну початкову або пускову частоту обертання, тобто запустити двигун.

Пускова частота обертання залежить від типу двигуна: 40 - 70 об / хв - для карбюраторних двигунів і 100 - 200 об / хв - для дизельних. Як пускових пристроїв використовуються переважно електричні стартери прямої дії.

Стартер забезпечує обертання колінчатого валу із частотою, яка потрібна для пуску двигуна внутрішнього згорання. При прокручуванні маховика двигуна стартер повинен подолати момент опору, який створюється силами тертя і компресією. Стартер зазвичай являє собою чотиріполюсний, чотирищітковий електродвигун постійного струму з послідовним або зі змішаним збудженням, з електромагнітним включенням шестерні приводу і дистанційним керуванням, потужністю від 0,6 кВт до 12 кВт. Сучасні стартери можуть виконуватись на базі машини постійного струму з збудженням від постійних магнітів.

1.2.5. Двигун приводу омивання скла

Омивання скла проводиться за допомогою електродвигуна постійного струму, з'єданого із центробіжним водяним насосом. Двигун насоса може бути встановлений у ємності із рідиною чи в окремому місці. Двигун розрахований на роботу в діапазоні температур від -20°C до 80°C . В нормальних умовах експлуатації при силі струму 2,8 А і напрузі 12 В.

1.2.6. Електропідсилювач рульового управління

Електропідсилювач рульового управління – це конструктивний елемент в рульовому управлінні автомобіля, який створює додаткове зусилля під час повороту рульового колеса за допомогою електричного приводу. Електропідсилювач керма об'єднується з рульовим механізмом в єдиному блоці. В підсилювачі встановлюється зазвичай асинхронний електродвигун (рисунок 4). Передача крутного моменту від електродвигуна на рейку рульового механізму забезпечується механічною передачею.

1.3. Вибір та опис механізму для сервісного двигуна.

В даній роботі буде розраховуватись двигун для склоочисника автомобіля, тому мій вибір прийшовся на автомобільний моторедуктор.

Моторедуктори застосовуються в скло- та фароочисниках, електроприводах блокування замків дверцят, склопідіймачах. На рис.1.2. зображений моторедуктора склоочисника заднього скла.

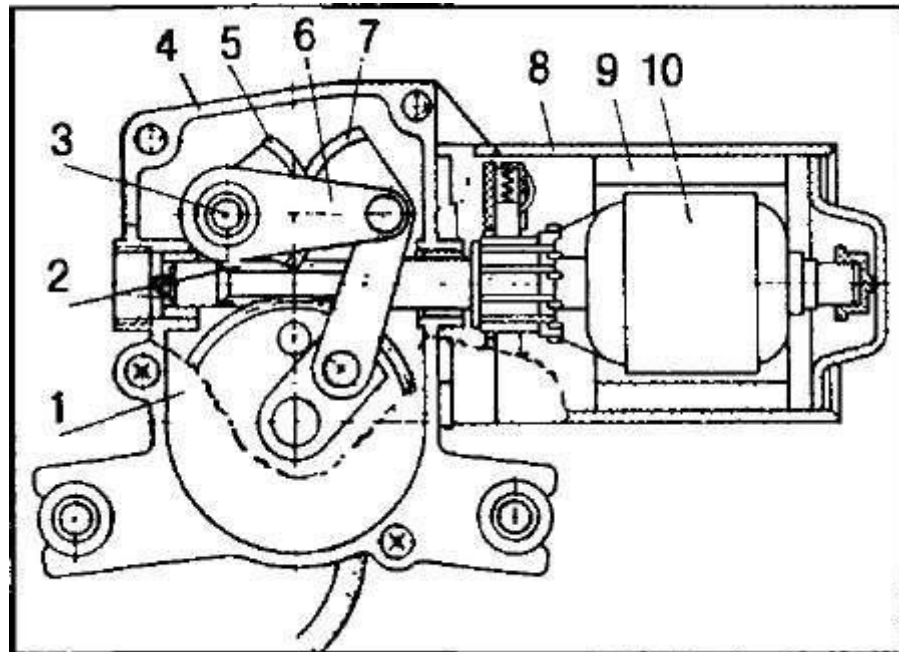


Рис.1.2. Моторедуктор склоочисника заднього скла.(1 – шестерня; 2 – черв'як; 3 – вихідний вал; 4 – корпус редуктора; 5, 7 – зубчасті сектора; 6 – сережка; 8 – корпус електродвигуна; 9 – постійний магніт; 10 – якор.)

Конструкція моторедуктора визначається конструкцією електродвигуна який входить до складу моторедуктора, однак при цьому вал електродвигуна подовжений і закінчується нарізкою черв'яка редуктора. Стінка корпусу редуктора грає роль передньої кришки електродвигуна, щітковий вузол розташований з боку редуктора. Черв'ячне колесо приводить в дію кривошипно-шатунний механізм, що складається з зубчастих секторів, що перетворює обертальний рух валу двигуна в рух щіток. Зубчасті сектори дозволяють розширити кут коливання щіток до 120° .

У моторедуктор вбудовані кінцевий вимикач, який забезпечує укладання щіток в крайньому положенні при виключенні моторедуктора, і біметалічний запобіжник. Для очищення фар круглої форми достатній кут коливання щітки 60° . Малогабаритні редуктори, застосовувані в фароочисниках, не мають черв'ячного механізму. Вихідний

вал редуктора, паралельний валу двигуна, отримує коливальний рух від багатовступінчастого редуктора і двухвентного кривошипно-шатуного механізму, що складається з шатуна і повідка (рис.1.3.). Для прямокутної фари достатній кут коливань 45° , і моторредуктор очищення таких фар має однозвеной кривошипний механізм, що складається із шатуна і закріпленого на бічній поверхні пальця, що входить в проріз шатуна.

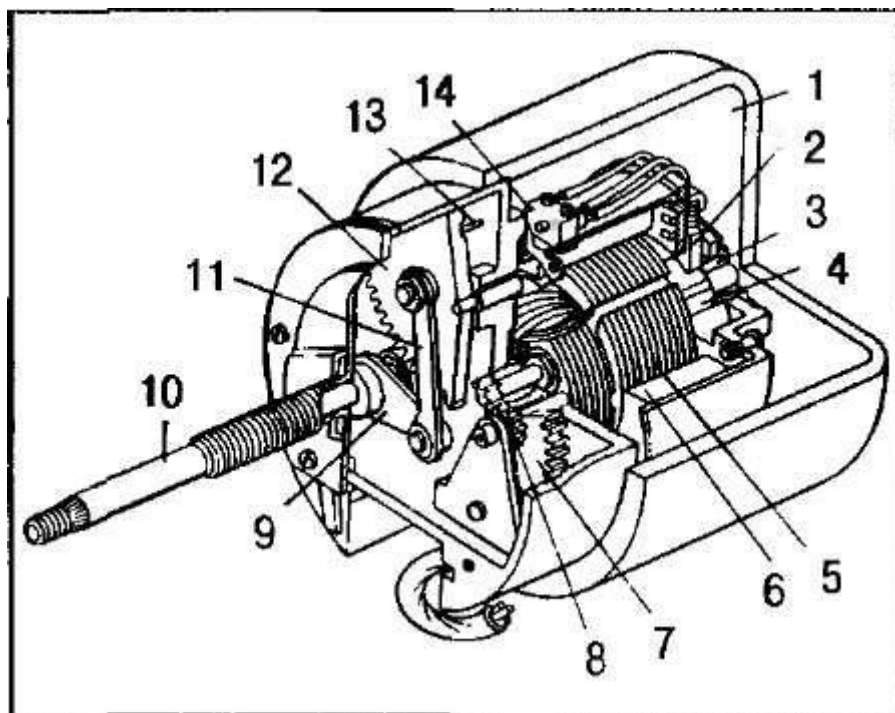


Рис.1.3. Моторредуктор очищувача фар. (1 - корпус; 2 - щітки; 3 - підшипник; 4 - колектор; 5 - ярі; 6 - постійний магніт; 7 - ведена шестерня першого ступеня редуктора; 8 - провідна шестерня другого ступеня редуктора; 9 - поводок; 10 - вихідний вал; 11 - шатун; 12 - ведена шестерня другого ступеня редуктора; 13 - шток; 14 – вимикач)

Кінцевий вимикач розриває ланцюг електропостачання двигуна, коли його шток потрапляє в поглиблення на вихідній шестерні. Багато моторредукторів склоочисників не мають кривошипно-шатуного механізму. В цьому випадку обертальний рух перетворюється в коливальний важільним механізмом щітки.

Конструкція моторредукторів склопідійомників в значній мірі залежить від розмірів електродвигуна. Якщо габарити малі і допускають розташування моторредуктора в зоні

механізму підйому скла, то редуктор об'єднаний з двигуном в єдину конструкцію, в якій редуктор через черв'ячні колесо здійснює управління механізмом підйому (рис. 1.4). Така конструкція може містити одно- або багатоступінчастий проміжний редуктор, що дозволяє при тій же швидкості підйому скла збільшити частоту обертання якоря електродвигуна і, отже, зменшити його габарити і масу.

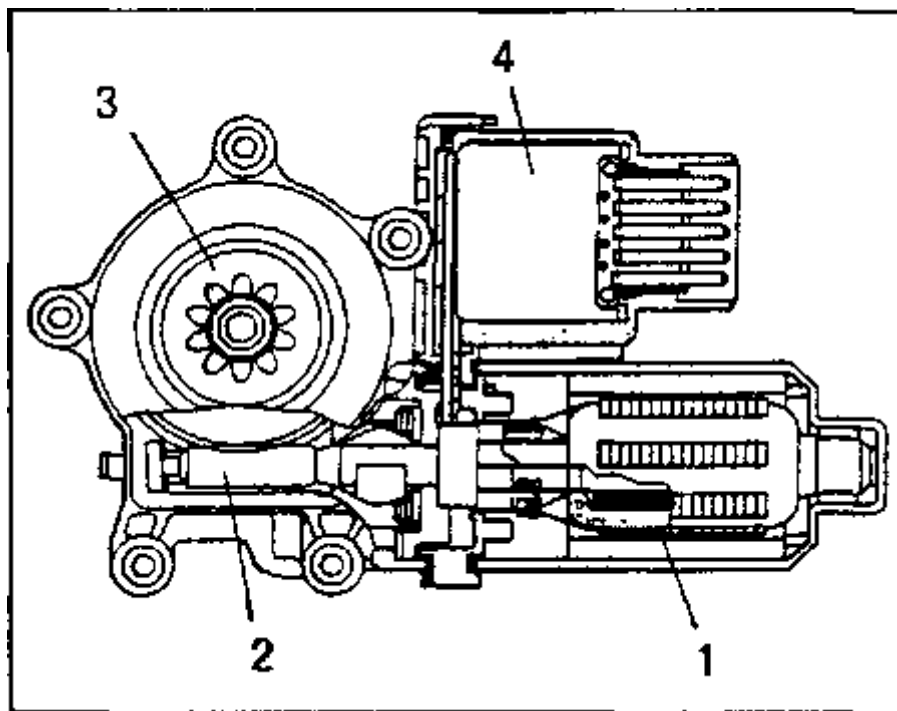


Рис.1.4. Моторредуктор скла підйомника. (1 - електродвигун; 2 - черв'ячний редуктор;

3 - вихідна шестерня; 4 - блок управління)

Якщо габарити електродвигуна не дозволяють розмістити його в зоні скла підйомного механізму, то там розташовується лише черв'ячний редуктор, вал якого приводиться в обертання гнучким валом, сталевий струною або іншим способом від валу електродвигуна.

2. ВИБІР, ОБМІРКОВУВАННЯ ТА ОПИС КОНСТРУКЦІЇ.

Запроектований сервісний автомобільний двигун постійного струму призначений для приводу моторедуктора заднього склоочисника легкового автомобіля. Виходячи з специфіки призначення двигуна, до нього пред'євляється ряд вимог по збільшенню надійності, спрощенню конструкції, зменшенню масо-габаритних показників, збільшенню ККД. В основному ці вимоги задовільняє двигун постійного струму із збудженням від постійних магнітів.

Специфікою конструкції являється використання в якості системи збудження постійних магнітів, що дозволяє:

- спростити конструкцію машини та зменшити її масо-габаритні показники за рахунок відсутності котушок збудження;
- підвищити КПД машини завдяки відсутності втрат на збудження;
- зменшити нагрів машини в порівнянні з машинами електромагнітного способу збудження.

Загальний вид конструкції запроєктованого двигуна представлений на рис 2.4.

2.1. Опис конструкції моторедуктора.

Моторедуктор заднього склоочисника який виготовляється на заводі «СТАРВОЛЬТ». Саме ця конструкція моторедуктора взята в розрахунок в якості конструктивного прототипу.

Основними конструктивними частинами моторедуктора є: електродвигун, червячна передача, вузол секторів.

Розглянемо рис. 2.1., на якому представлена кінематична схема моторедуктора. Червяк поз.1., який являється вихідним кінцем валу двигуна обертається з частотою 3700 об/хв. Червяк приводить в дію косозубе колесо поз.2., до якого кріпиться шатун поз.3. в точці, яка зміщена відносно центру колеса. Шатун при обертанні колеса здійснює зворотньо-поступальний рух, який перетворюється у зворотньо-поступальні повороти зубчатого сектора поз.4.

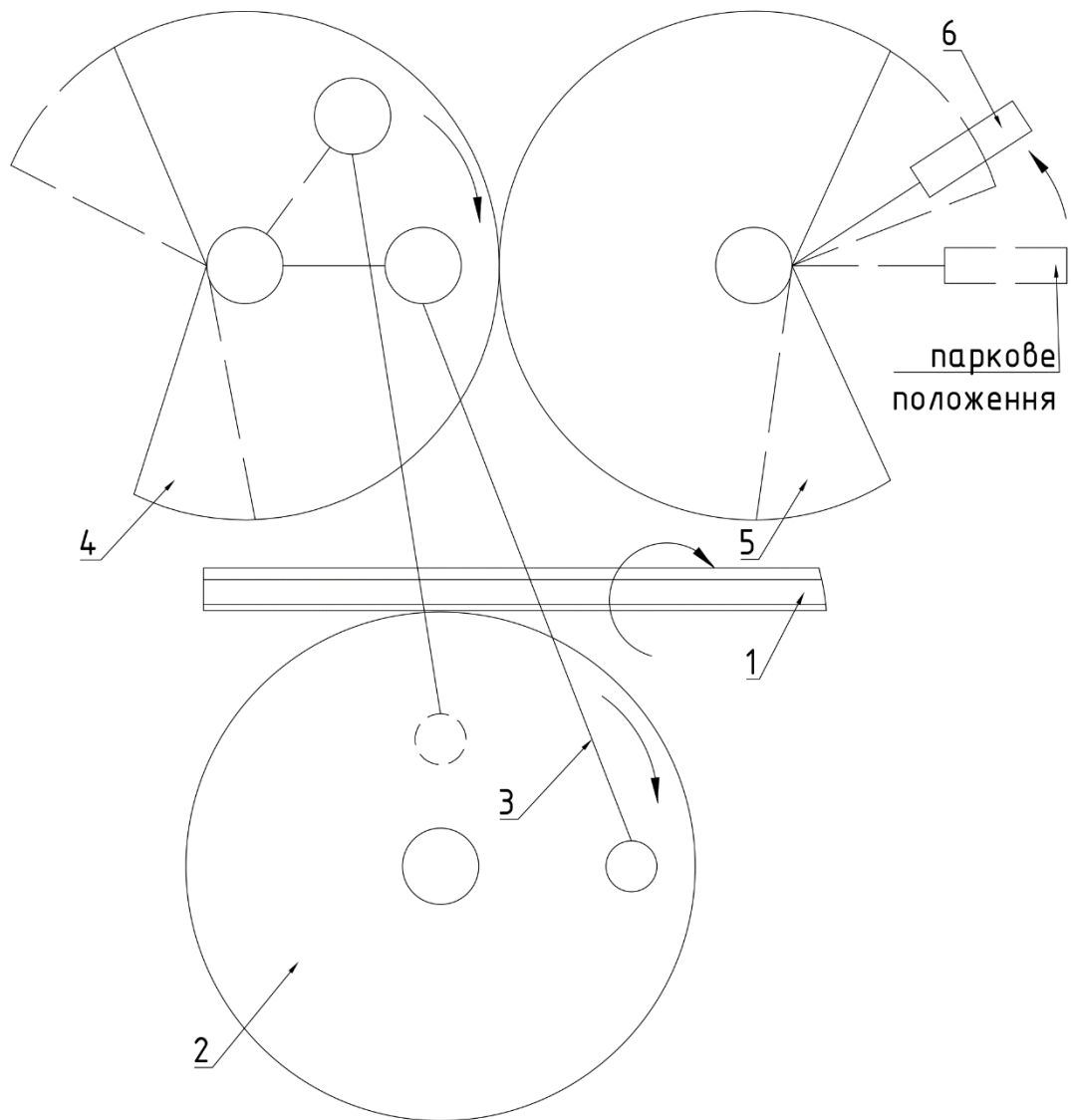


Рис.2.1. Кінематична схема моторредуктора.

Між секторами поз.4. та поз.5. існують зубчаті зчеплення, тому зворотньо-поступальні повороти сектора поз.4. передаються сектору поз.5., на вісь якого насаджується безпосередньо щітка поз.6.

В технічних умовах йдеться про паркове положення моторредуктора. Під парковим положенням розуміється вихідне положення щітки, при вимкненому моторредукторі (Рис.2.1.). Воно досягається наступним чином. При виключенні моторредуктора за допомогою реле на електродвигун подається напруга зворотної полярності, виникає гальмівний момент. На косозубому колесі є дві мідні доріжки поз.1. та поз.2. (Рис.2.2.), на яких завжди ковзають контакти реле.

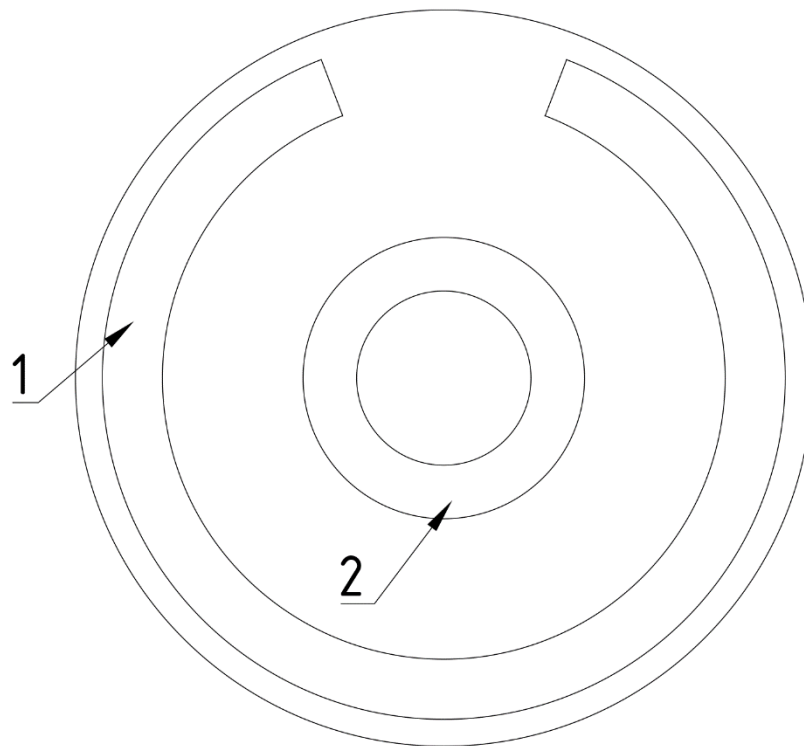


Рис.2.2.

Доріжка поз.1. має розрив. При підключенні склоочисника, контакти SA1 (Рис.2.3.) замикаються, а контакти S2 знаходяться в положенні 1. На двигун подається напруга. При вимкненні склоочисника контакти SA1 розмикаються, а S2 переключаються в положенні 2, при цьому струм в двигуні змінює свій напрям за рахунок ЕРС самоіндукції, виникає гальмівний момент, який сприяє зупинці двигуна. При попаданні контакта в зону розриву доріжки 1 поз.1. контакти S2 перемикаються в положення 1, тим самим розривається контур протікання струму.

При цьому, коли контакт знаходиться в зоні розриву доріжки 1, щітка знаходиться в парковому положенні.

Захист моторедуктора від перевантажень здійснюється за допомогою теплового реле, яке спрацьовує при протіканні струму величиною 3 А протягом 10 секунд.

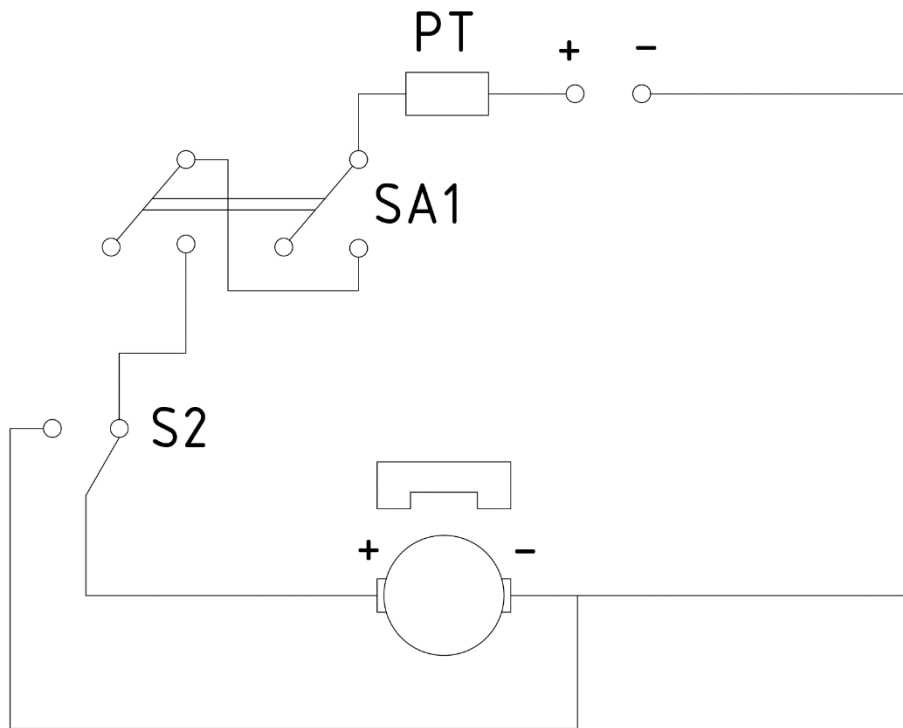


Рис.2.3. Контактна схема склоочисника.

2.2. Оболонка двигуна.

Загальний вигляд конструкції запроєктованого двигуна представлений на рис.2.4. Корпус двигуна (стакан) поз.1. виконаний із сталі марки 08 КП 10Ф-6,5 ГОСТ 1050-52 товщиною 3мм методом штамповки. Корпус має форму повного циліндричного стакану. Дана конструкція двигуна не має явновираженого підшипникового щита. Підшипниковий щит поз.2., який є частиною корпусу редуктора, виконується литим із алюмінієвого сплаву марки АК 12 ГОСТ 1583-89. Корпус двигуна кріпиться до корпусу редуктора двома гвинтами, за допомогою сухарів, для установки яких в корпусі двигуна є два спеціальних отвори. Самі підшипники ковзання мідно-графітові поз.3,4 встановлюються в корпусі моторедуктора, а не двигуна, що являється специфічністю даного двигуна.

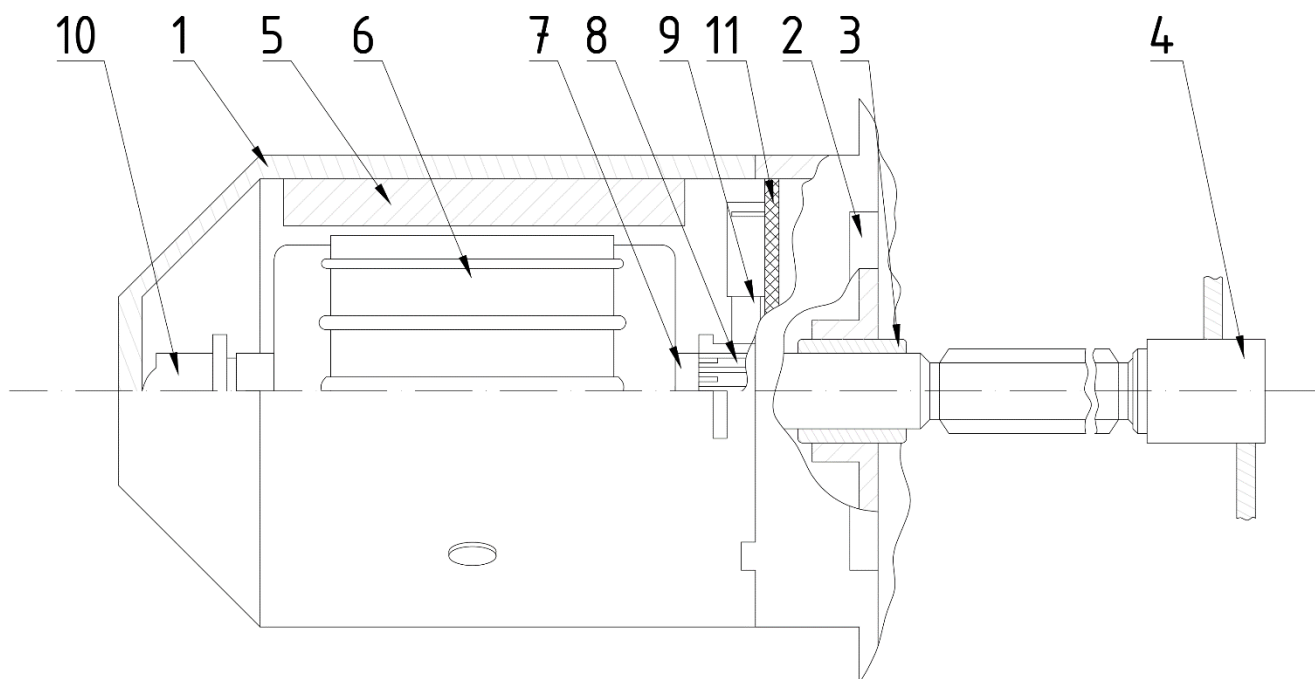


Рис.2.4. Загальний вид конструкції двигуна.

2.3. Статор.

Конструкція магнітної системи малих машин постійного струму з постійними магнітами принципіально не відрізняється від конструкції машин постійного струму з електромагнітним збудженням. В ній відсутні лише котушки обмоток збудження.

В якості системи збудження використовуються постійні магніти поз.5. виконані в формі скоб, які кріпляться до корпусу за допомогою спеціальних пружин. Постійні магніти виконані з барій-феритового сплаву марки 24БА210. Барій-феритові сплави знайшли широке застосування внаслідок відносної дешевизни та хороших магнітних властивостей за рахунок високої коерцитивної сили. Магніт який використовується має наступні дані: $H_C=210$ кА/м; $B_r=0,375$ Тл, $W=12$ кДж/м.куб.

2.4. Ротор.

Сердечник якоря поз.6. набирається з листів електротехнічної сталі марки 2212 ГОСТ 21472.2-83 товщиною листа 0,5мм. Пакет якоря безпосередньо насаджується на вал ротора двигуна методом гарячої пресовки. Така посадка володіє рядом переваг в порівнянні з другими методами:

- Виключається викривлення валу при запресовці його в сердечник, так як останній при запресовці нагрівається;

- Збільшується жорсткість вузла «вал-ротор», що дає можливість зменшити діаметр валу без збільшення його прогину при роботі.

Обмотка якоря проста, петлева, виконана з круглого мідного дроту марки ПТЕВ діаметром 0.44мм. Обмотка двошарова. Число провідників в пазу -46, крок обмотки по пазах $Y_1=6$, крок по колектору $Y_k=1$. Ізоляція лобових частей обмотки від сердечника якоря забезпечується поліпропеленовими зірочками, по формі повторюючими роторний лист. Обидві зірочки насаджуються на вал ротора.

Вал ротора поз.7. виконаний з хромомарганцевокремністої сталі марки 30 ХГСА ДСТУ 7806:2015. Конструкція валу двигуна специфічна оскільки вихідний кінець валу є одночасно червяком червячної передачі редуктора. На другий кінець валу насаджується ковпачок поз.10, виконаний з склонаповненого поліаміду. Вихідний кінець валу має дві посадочні поверхні під підшипники.

2.5. Колектор та щітки.

Щітково-колекторний вузол являється найбільш слабким місцем в колекторних машинах. Саме тому конструкція колектора та щіткового вузла повинна забезпечувати необхідну для нормальної експлуатації ступінь надійності.

Колектор поз.8. має пластмасову основу. Колекторні пластини, число яких 12, мають форму «ластівкового хвоста» та виготовляються з колекторного профілю марки ЛКМ-Н-І-4,3х5,28х2,38-30град. Колекторні пластини ізолюються одна від одної ізоляційними прокладками, виготовленими із слюдопластика КНФП 0,6 ГОСТ 18890-2003.

В низьковольтних електродвигунах постійного струму малої потужності застосовуються переважно мідно-графітні щітки марок М-1; М-6 та МГ.

В даному двигуні застосовуються щітки марки МГ-4, які мають наступні показники:

- Допустима щільність струму $j_{щ}=15 \text{ А/см}^2$;
- Перехідне падіння напруги $\Delta U_{щ}=1,1 \text{ В}$;
- Питоме натискання $p_{щ}=2,1 \cdot 10^{-4} \text{ Н/см}^2$.

Щітки поз.9. розташовуються в щіткотримачах трубчатого типу. В них щітка розташована перпендикулярно до колектора і тиск пружини на неї діє безпосередньо в радіальному напрямі. Сам щіточний вузол поз.11 кріпиться до корпусу редуктора двома гвинтами. Він складається з двох плат. Обидві плати виконуються з пластмаси.

3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ РОЗРАХУНОК.

На заводі «Старвольт» виготовляють двигун подібного типу для моторредуктора заднього склоочисника легкового автомобілю. Двигун має наступні технічні характеристики та розміри:

- діаметр $D_p=34,6$ мм.
- довжина пакету ротора $L_p=25$ мм;
- частота обертання ротора двигуна: 3700 об/хв.

В проекти виконаний електромагнітний розрахунок, отримані всі технічні характеристики і розроблені всі креслення. Таким чином даний проект являє собою технічну документацію на двигун що випускається, яка була відсутня на заводі.

3.1. Вибір основних розмірів електродвигуна.

Основою для розрахунку даного двигуна постійного струму є наступні дані:

- корисна потужність на валу - 10 Вт;
- напруга на затискачах машини - 12 В;
- швидкість обертання - 3700 об/хв.
- спосіб збудження - постійні магніти;
- режим роботи - тривалий.

1. Розрахункова потужність двигуна:

$$P_a = (1 + 2 \cdot \eta) \cdot \frac{P}{3 \cdot \eta} = (1 + 2 \cdot 0.5) \cdot \frac{10}{1.5} = 13.3 \text{ Вт.}$$

де по кривій (λ_1) для потужності $P=10$ Вт прийнято ККД рівним $\eta = 0.5$ (з врахуванням збудження від постійних магнітів).

2. Струм та ЕРС якоря при навантаженні машини:

$$I_a = \frac{P_n}{\eta \cdot U} = \frac{10}{0.5 \cdot 12} = 1,67 \text{ А}$$
$$E_a = \frac{1 + 2 \cdot \eta}{3} \cdot U = \frac{1 + 2 \cdot 0.5}{3} \cdot 12 = 8 \text{ В.}$$

3. Машинна постійна.

$$C = \frac{6 \cdot 10^4}{\alpha \cdot B_\delta \cdot A_S} = \frac{6 \cdot 10^4}{0.72 \cdot 0.24 \cdot 44} = 7936.5.$$

Де $B_\delta = 0,24$ Тл – індукція в повітряному проміжку під полюсом при навантаженні;

$A_S = 44$ А/см – лінійне навантаження якоря;

$\alpha = 0,72$ – коефіцієнт полюсного перекриття.

Індукція B_δ та лінійне навантаження A_S обрані по кривим (λ_1) в залежності від відношення корисної потужності до швидкості обертання.

4. Діаметр розточки полюсів і розрахункова довжина пакету якоря.

$$D_n = \sqrt[3]{\frac{C \cdot P_a}{\xi \cdot n}} = \sqrt[3]{\frac{7936,5 \cdot 13,3}{0,7 \cdot 3700}} = 3,44 \text{ см}$$

$$l_0 = \xi \cdot D_n = 0,7 \cdot 3,44 = 2,41 \text{ см}$$

де попередньо прийнято $\xi=0,7$.

Остаточно приймаємо згідно даним прототипу:

$$D_n = 3,56 \text{ см};$$

$$l_0 = 2,5 \text{ см}.$$

Тоді остаточний діаметр якоря:

$$D_a = D_n - 2 \cdot d = 3,56 - 0,05 \cdot 2 = 3,46 \text{ см},$$

де $d = 0,5$ мм – довжина повітряного проміжку між розточкою полюсів та якорем машини (прийнято попередньо)

5. Окружна швидкість обертання якоря

$$v_a = \frac{\pi \cdot D_a \cdot n}{6000} = \frac{\pi \cdot 3,46 \cdot 3700}{6000} = 6,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

6. Полюсний крок і розрахункова полюсна дуга.

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_a}{2p} = \frac{\pi \cdot 3,46}{2} = 5,44 \text{ см}.$$

$$b_0 = \alpha \cdot \tau = 0,72 \cdot 5,44 = 3,97 \text{ см}.$$

де $2p=2$ – число полюсів машини.

Дійсна полюсна дуга

$$b = 1,02 \cdot b_0 = 1,02 \cdot 3,97 = 4,05 \text{ см.}$$

7. Частота перемагнічування сталі якоря.

$$f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{1 \cdot 3700}{60} = 61,7 \text{ Гц}$$

Матеріал якоря – листова електротехнічна сталь марки 2212 товщиною листа 0.5 мм по ГОСТ 21472.2-83.

3.2. Обмотка якоря.

1. Корисний потік полюса при навантаженні двигуна.

$$\Phi_a = B_\delta \cdot l_0 \cdot b_0 \cdot 10^{-4} = 0,24 \cdot 3,97 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

2. Число повідників обмотки збудження.

$$N = \frac{60 \cdot a \cdot E_a}{p \cdot n \cdot \Phi_a} = \frac{60 \cdot 1 \cdot 8}{1 \cdot 3700 \cdot 2,38 \cdot 10^{-4}} = 545.$$

3. Число пазів якоря.

Вибір числа пазів якоря, по досвіду побудованих електродвигунів малої потужності можна робити по співвідношенню.

$$Z=(3\dots4) D_a = (3\dots4) \cdot 3,46 = 10\dots13$$

Приймаємо $Z=12$

4. Число колекторних пластин.

В мацигах малої потужності зазвичай число колекторних пластин обирають із співвідношення $K=(1\dots3) \cdot Z$.

Приймаємо $K=1 \cdot Z = 1 \cdot 12 = 12$.

5. Число витків в секції обмотки якоря.

$$\omega_c = \frac{N}{2 \cdot K} = \frac{545}{2 \cdot 12} = 23.$$

Приймаємо $\omega_c = 23$.

Остаточню приймаємо $N = 2 \cdot K \cdot \omega_c = 2 \cdot 12 \cdot 23 = 552$.

6. Число провідників в пазу якоря.

$$s_n = \frac{N}{Z} = \frac{552}{12} = 46.$$

Остаточні значення індукції в проміжку і корисного потоку будуть.

$$B_\delta = \frac{0.24 \cdot 545}{552} = 0.237 \text{ Тл};$$

$$\Phi_a = \frac{2.38 \cdot 10^{-4} \cdot 545}{552} = 2.35 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

7. Кроки обмотки якоря по секціям та колектору.

Обираємо просту петльову обмотку.

$$y_1 = \frac{K}{2 \cdot p} - \epsilon = \frac{12}{2} - 0 = 6 \text{ перший частковий крок, рівний числу елементарних}$$

пазів по ширині секції;

ϵ укорочення або подовження кроку обмотки.

$y_2 = y_1 - 1 = 6 - 1 = 5$ другий частковий крок, рівний числу елементарних пазів між кінцевою стороною при обході секції, та початковою стороною наступної секції.

$y = 1$ результуючий крок, рівний здвигу секцій, слідує одна за другою по схемі обмотки.

$y_K = 1$ крок по колектору, рівний числу колекторних поділок між початком і кінцем секції.

Схема простої петлевої обмотки машини приведена на рис 3.1.

8. Остаточна величина лінійного навантаження якоря.

$$A = \frac{N \cdot I_a}{2 \cdot \pi \cdot D_a} = \frac{552 \cdot 1,67}{2 \cdot \pi \cdot 3,46} = 42,4 \frac{\text{А}}{\text{см}}.$$

Отримана величина A не повинна відрізнятись від попередньо обраної більш ніж на -5% .

$$(42,4 - 44) / 44 \cdot 100 = -3.6\%$$

Проста петльова обмотка.
 $z=12; K=12; 2p=2; y_1=6; y_2=5; y_k=1.$

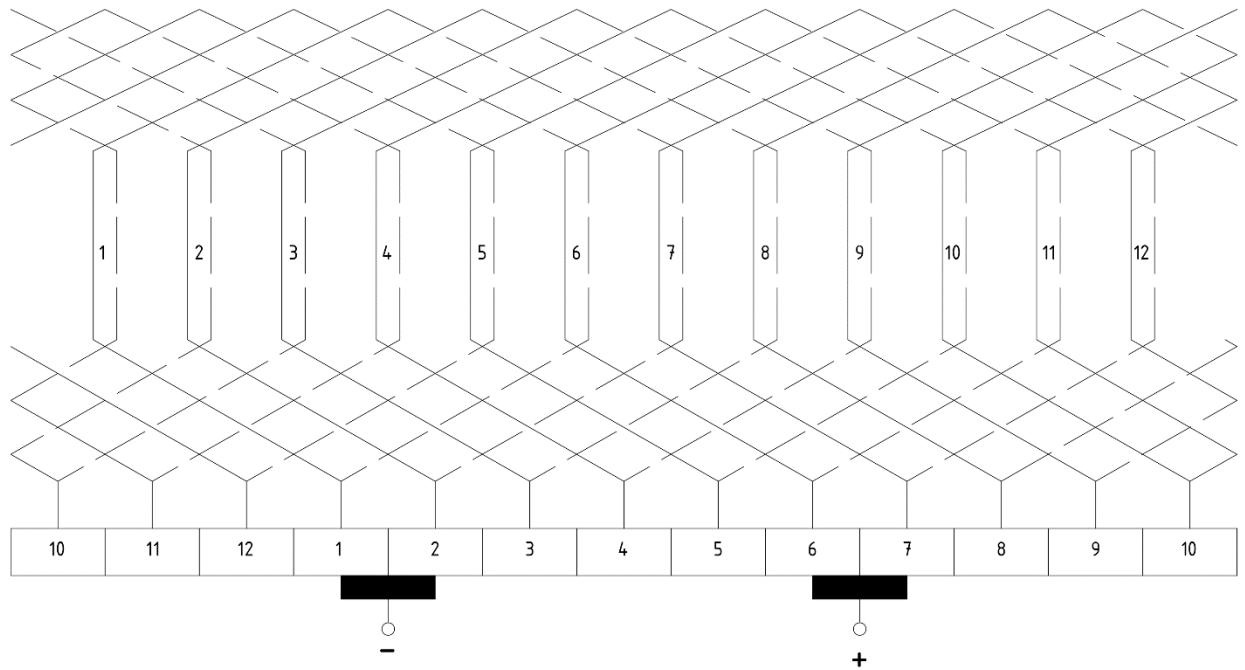


Рис.3.1. Схема обмотки двигуна.

3.3. Розрахунок зубців, пазів і провідників обмотки якоря.

1. Попередній вибір щільності струму в обмотці якоря.

Питоме теплове навантаження бічної поверхні пакету якоря при тривалому режимі роботи двигуна.

$$q = \Theta_m \cdot \alpha' \cdot (1 + 0,1v_a) = 65 \cdot 0,0017 \cdot (1 + 0,1 \cdot 6,7) = 0,185 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}.$$

Де $\Theta_m = 65$ град. Попередньо допустиме перевищення температури якоря над температурою оточуючого середовища.

$\alpha' = 0,0017 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{град}}$ коефіцієнт тепловіддачі поверхні якоря в спокійному середовищі.

Допустима щільність струму в обмотці якоря в середньому.

$$j'_a = \frac{1700 \cdot q}{A} = \frac{1700 \cdot 0,185}{42,4} = 7,4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

2. Переріз та діаметр провідника обмотки якоря.

$$\text{Попередньо } q'_a = \frac{I_a}{2 \cdot j'_a} = \frac{1,67}{2 \cdot 7,4} = 0,1128 \text{ мм}^2$$

Остаточню обираємо переріз та діаметр провідника згідно з ГОСТ 6324-52.

$$q_a = 0,1257 \text{ мм}^2;$$

$$\frac{d_a}{d_{au}} = \frac{0,4}{0,44} \text{ мм}$$

Марка проводу ПТЕВ

3. Остаточна щільність струму в обмотці якоря.

$$j_a = \frac{I_a}{2 \cdot q_a} = \frac{1,67}{2 \cdot 0,1257} = 6,64 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}.$$

4. Площа перерізу пазу якоря.

а) площа паза якоря, яку займають ізольовані провідники,

$$S_{n,n} = \frac{s_n \cdot d_{au}^2}{f_0} = \frac{46 \cdot 0,44^2}{0,72} = 12,4 \text{ мм}^2.$$

де $f_0 = 0,70 \dots 0,74$ технологічний коефіцієнт, який враховує неточності та нещільність укладки провідників обмотки в пази.

б) площа паза, яку займає пазова ізоляція.

$$S_{nu} = \delta_u \cdot \Pi = 0,15 \cdot 27,372 = 4,2 \text{ мм}^2.$$

де $\Pi = D_a \cdot 0,8 = 3,46 \cdot 0,8 = 27,68 \text{ мм}$ периметр пазу;

$\delta_u = 0,1 \dots 0,15 \text{ мм}$ товщина пазової ізоляції із кабельного паперу, лакованої тканини або електрокартону. Товщина пазової ізоляції $\delta_u = 0,15 \text{ мм}$ складається із лакотканини ЛШС 0,5 мм., тв електрокартону ЕВ 0,1 мм.

в) площа паза якоря яку займає клин.

$$S_{nk} = b_{кл} \cdot h_{кл} = 5 \cdot 1 = 5 \text{ мм}^2,$$

де

$b_{кл} = 5 \text{ мм}$ ширина клина по дузі окружності якоря;

$h_{кл} = 1 \text{ мм}$ висотка клина.

г) загальна необхідна площа перерізу пазу якоря

$$S_n = S_{nn} + S_{nu} + S_{nk} = 12,4 + 4,2 + 5 = 21,6 \text{ мм}^2.$$

5. Коефіцієнт заповнення паза ізолюваним проводом

$$k_{nu} = \frac{S_n \cdot q'_a}{S_n} = \frac{46 \cdot 0,152}{21,6} = 0,32$$

Що допускається, так як величина коефіцієнту $k_{nu} = 0,3 \dots 0,46$.

$q'_a = \frac{\pi \cdot d_{au}^2}{2} = \frac{\pi \cdot 0,44^2}{2} = 0,152 \text{ мм}^2$. площа поперечного перерізу провідника з ізоляцією.

6. Розміри пазу та зубців якоря.

Обираємо трапециїдальні пази з однаковою товщиною зубця по його висоті.

Мінімальна товщина зубця

$$b_{zmin} = \frac{B_\delta \cdot t_1}{0,93 \cdot B_{zmax}} = \frac{0,24 \cdot 0,906}{0,93 \cdot 1,3} = 0,18 \text{ см}$$

де зубцевий крок якоря

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_a}{z} = \frac{\pi \cdot 3,46}{12} = 0,906 \text{ см.}$$

Максимальна індукція B_{zmax} в зубцях якоря електродвигунів постійного струму малої потужності по технологічним умовам зазвичай не перевищує $1,3 \dots 1,5 \text{ Тл}$.

Приймаємо $B_{zmax} = 1,2 \text{ Тл}$.

На рис. 3.2. приведена частина окружності якоря.

Після зображення пазу, згідно рис.3.2. його розміри:

$$h_n = 9,3 \text{ мм} \text{ висота паза;}$$

$$b_1 = 4,5 \text{ мм} \text{ ширина пазу у верхній частині;}$$

$$b_2 = 1,25 \text{ мм} \text{ ширина пазу в нижній частині;}$$

$$a_n = (2 \dots 8) \cdot d_{au} = (2 \dots 8) \cdot 0,44 = 2 \text{ мм} \text{ ширина прорізу пазу;}$$

$$h_{щ} = 1 \text{ мм} \text{ висота щілини пазу;}$$

Розміри зубця:

$$z_1 = t_1 - a_n = 0,906 - 0,2 = 0,706 \text{ см;}$$

$$z_{\min} = 3,4 \text{ мм.}$$

7. Середня довжина провідника обмотки якоря.

$$\text{При } 2p=2 \quad l_a = l_0 + 1,2 \cdot D_a = 2 + 1,2 \cdot 3,46 = 6,65 \text{ см.}$$

8. Опір обмотки якоря в нагрітому стані при $v = 75^\circ\text{C}$.

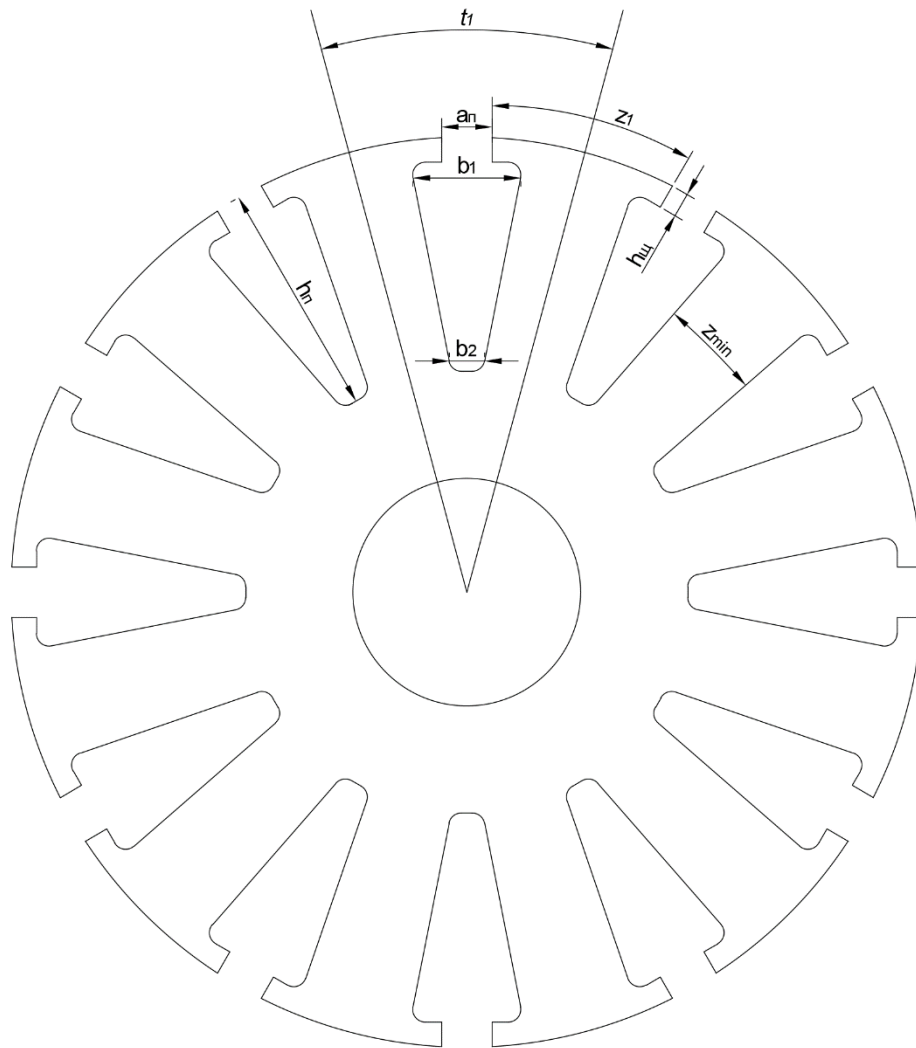
$$r_a = k_\theta \cdot \frac{N \cdot l_a}{5700 \cdot 4 \cdot q_a} = 1,22 \cdot \frac{552 \cdot 6,65}{5700 \cdot 4 \cdot 0,1257} = 1,56 \text{ Ом}$$

$$\text{де } k_\theta = 1 + 0,004 \cdot (v - 20) = 1 + 0,004 \cdot (75 - 20) = 1,22$$

9. Падіння напруги в обмотці якоря при повному навантаженні

$$\Delta U_a = I_a \cdot r_a = 1,67 \cdot 1,56 = 2,6 \text{ В,}$$

$$\text{що складає } \frac{\Delta U_a}{U} \cdot 100\% = \frac{2,6}{12} \cdot 100\% = 22 \text{ \%}$$



$a_n = 2 \text{ мм.}$	$z_{min} = 3.4 \text{ мм}$
$t_1 = 0.906 \text{ мм}$	$h_n = 9.3 \text{ мм}$
$z_1 = 0.706 \text{ мм}$	$b_1 = 4.5 \text{ мм}$
$h_{ш} = 1 \text{ мм}$	$b_2 = 4.5 \text{ мм}$

Рис.3.2. Зубцева частина окружності якоря.

3.4. Розрахунок колектора та щіток.

1. Попередній діаметр колектора.

Діаметр колектора попередньо обирається із співвідношення:

$$D'_k = (0,5 \dots 0,9) \cdot D_a = (0,5 \dots 0,9) \cdot 3,46 \approx 1,73 \text{ см.}$$

2. Ширина колекторної пластини.

Колекторна поділка.

$$t'_k = \frac{\pi \cdot D'_k}{K} = \frac{\pi \cdot 1,73}{12} = 0,45 \text{ см.}$$

В машинах малої потужності зазвичай ширина колекторної пластини:

$$\beta_k = 0,2 \dots 0,5 \text{ см, приймаємо } \beta_k = 0,43 \text{ см.}$$

Товщина міканітової або пластмасової ізоляції між колекторними пластинами:

$$\beta_u = 0,4 \dots 0,6 \text{ мм, приймаємо } \beta_u = 0,5 \text{ мм.}$$

Тоді остаточна колекторна поділка

$$t_k = \beta_k + \beta_u = 0,43 + 0,05 = 0,48 \text{ см.}$$

3. Остаточний діаметр колектора та його окружна швидкість.

Діаметр колектора

$$D_k = \frac{K \cdot t_k}{\pi} = \frac{12 \cdot 0,48}{\pi} = 1,83 \text{ см.}$$

Окружна швидкість колектора:

$$v_k = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n}{6000} = \frac{\pi \cdot 1,83 \cdot 3700}{6000} = 3,55 \frac{\text{м}}{\text{сек.}}$$

Окружна швидкість колектора складає 0,5...0,9 величини окружної швидкості якоря.

$$\frac{v_k}{v_a} = \frac{3,55}{6,7} = 0,53.$$

4. Сорт щіток та щільність струму під щітками.

Так як двигун що проектується низьковольтний, то можна застосувати мідно графітові щітки марки МГ 4.

Данні щіток:

$$j'_{\text{щ}} = 15 \frac{\text{А}}{\text{см}^2} - \text{допустима щільність струму};$$

$\Delta U_{\text{щ}} = 1,1 - 0,5 \text{ В}$ перехідне падіння напруги на пару щіток при номінальному струмі та окружній швидкості 15 м/с;

$\mu = 0,2$ - коефіцієнт тертя при швидкості 15 м/с;

$$p_{\text{щ}} = 2 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Н}}{\text{см}^2} (0,204 \text{ кг/см}^2) - \text{питомий натиск.}$$

5. Площа перерізу щітки та її розміри.

Площа перерізу.

$$S'_{\text{щ}} = \frac{I_a}{p \cdot j'_{\text{щ}}} = \frac{1,67}{1 \cdot 15} = 0,11 \text{ см}^2$$

Приймаємо ширину щітки по окружності колектора

$$b_{\text{щ}} = (1 \dots 3) \cdot \beta_k = 4 \text{ мм.}$$

Довжина по осі колектора

$$\alpha_{\text{щ}} = 5 \text{ мм} - \text{по ГОСТ 10244} - 62.$$

Тоді остаточно площа перерізу щітки

$$S_{\text{щ}} = b_{\text{щ}} \cdot a_{\text{щ}} = 4 \cdot 5 = 20 \text{ мм}^2$$

Висота щітки

$$h_{\text{щ}} = 11 \text{ мм.}$$

6. Остаточна щільність струму під щіткою.

$$j_{\text{щ}} = \frac{I_a}{p \cdot S_{\text{щ}}} = \frac{1,67}{1 \cdot 0,2} = 8,35 \frac{\text{А}}{\text{см}^2}.$$

7. Довжина колектора.

Активна довжина колектора по осі валу.

$$l'_k = (1,5 \dots 2) \cdot \alpha_{\text{щ}} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ мм.}$$

Повна довжина колектора по осі валу.

$$l_k = l'_k + (3 \div 5) \cdot d_a = 10 + 2 = 12 \text{ мм.}$$

8. Перевірка комутації.

Ширина комутаційної зони

$$b_k = b'_{\text{щ}} + \left[u_k + \left| \frac{K}{2p} - y_1 \right| - \frac{a}{p} \right] \cdot t'_k = 0,76 + \left[1 + \left| \frac{12}{2} - 6 \right| - \frac{1}{1} \right] \cdot 0,91 = 0,76 \text{ см.}$$

що цілком допустимо, так як для сприятливої комутації необхідно дотримуватися співвідношення:

$$b_k < 0,8(\tau - b_0) = 0,8(5,44 - 3,97) = 1,18 \text{ см.}$$

При цьому:

$$b'_{\text{щ}} = b_{\text{щ}} \cdot \frac{D_a}{D_k} = 0,4 \cdot \frac{3,46}{1,83} = 0,76 \text{ см;}$$

$$U_k = \frac{K}{z} = \frac{12}{12} = 1;$$

$$a=1;$$

$$t'_k = t_k \cdot \frac{D_a}{D_k} = 0,48 \cdot \frac{3,46}{1,83} = 0,91 \text{ см.}$$

Питома магнітна провідність для потоків розсіювання секції обмотки якоря.

$$\lambda = \left[0,6 \cdot \frac{2 \cdot h_n}{b_{n1} + b_{n2}} + \frac{l_s}{l_0} + 0,92 \cdot \log \left(\frac{\pi \cdot t_1}{a_n} \right) \right] \cdot 10^{-8} =$$
$$= \left[0,6 \cdot \frac{2 \cdot 9,3}{4,5 + 1,25} + \frac{41,52}{25} + 0,92 \cdot \log \left(\frac{\pi \cdot 0,906}{0,2} \right) \right] \cdot 10^{-8} = 4,66 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Гн}}{\text{см}},$$

$$\text{де } l_s = 1,2 \cdot D_a = 1,2 \cdot 34,6 = 41,52 \text{ см. при } 2p=2.$$

Середнє значення реактивної ЕРС в комутаційній секції якоря:

$$e_r = 2 \cdot \omega_c \cdot \lambda \cdot A \cdot l_0 \cdot v_a \cdot 100 = 2 \cdot 23 \cdot 4,66 \cdot 10^{-8} \cdot 42,4 \cdot 2,5 \cdot 6,7 \cdot 100 = 0,15 \text{ В}$$

В даній секції, окрім реактивної ЕРС, індукується ще і ЕРС реакції якоря

$$e_a = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot \omega_c \cdot A \cdot \tau \cdot l_0 \cdot \vartheta_a \cdot 10^{-6}}{\delta_0} =$$

$$= \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 23 \cdot 42,4 \cdot 5,44 \cdot 2,5 \cdot 6,7 \cdot 10^{-6}}{0,735} = 0,16 \text{ В,}$$

де

$\delta_0 = \frac{\tau - b_0}{2} = \frac{5,44 - 3,97}{2} = 0,735 \text{ см}$ – середня довжина силової лінії поперечного потоку реакції якоря в міжполюсному просторі машини.

Середнє значення результуючої ЕРС в короткозамкнутій секції якоря буде:

$$e_p = e_r + e_a = 0,15 + 0,16 = 0,31 \text{ В} < 0,5 \text{ В.}$$

Всі умови сприятливої комутації машини виконуються, тому допустимі відхилення при виготовленні, збірці, та експлуатації машини не призведуть до недопустимих умов комутації.

3.5. Розрахунок магнітної системи двигуна.

Приймаємо конструкцію магнітної системи двигуна що проектується з постійними магнітами в формі скоб по рис.3.3.

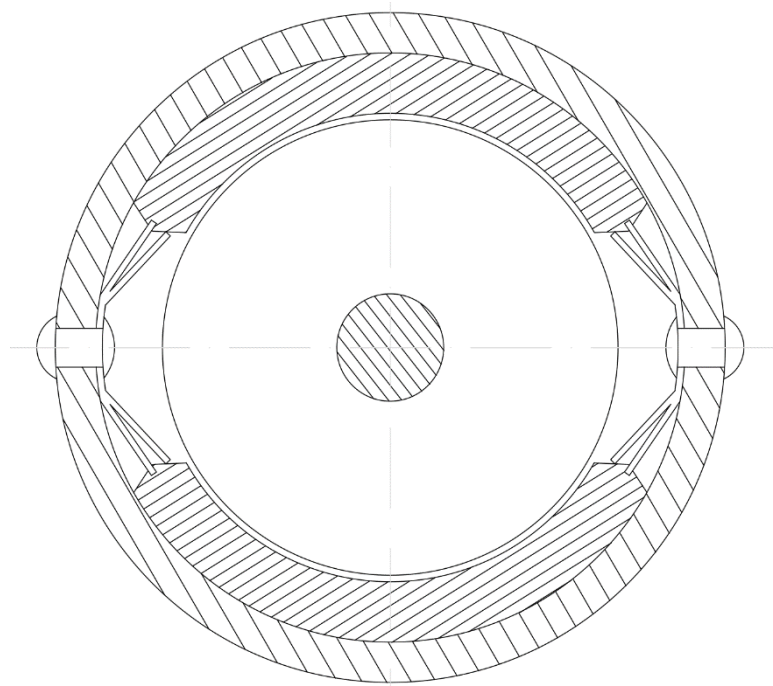


Рис.3.3. Магнітна система електродвигуна.

1. Довжина повітряного проміжку під полюсом (мінімальна).

$$\delta \approx 0,25 \cdot \frac{\tau \cdot A \cdot 10^{-4}}{B_{\delta}} = 0,25 \cdot \frac{5,44 \cdot 42,4 \cdot 10^{-4}}{0,237} = 0,024 \text{ см};$$

Приймаємо $\delta = 0,5$ мм, що забезпечить простоту збірки електродвигуна.

2. Висота сердечника якоря.

$$h_a = \frac{(D_a - 2 \cdot h_n - d_{\text{вл}})}{2} = \frac{(34,6 - 2 \cdot 9,3 - 8)}{2} = 4 \text{ мм},$$

де:

діаметр валу, по досвіду побудованих малопотужних машин

$$d_{\text{вл}} \approx (0,18 \div 0,24) \cdot D_a = (0,18 \div 0,24) \cdot 34,6 = 8 \text{ мм}.$$

Визначемо номінальну ЕРС якоря.

$$E = U - dU_a - dU_{\text{щ}} = 12 - 2,6 - 1,1 = 8,3 \text{ В},$$

при цьому відхилення від раніше заданого значення ЕРС складає

$$\frac{(8,3 - 8)}{8} \cdot 100 = 3,75\%, \text{ що цілком допустимо.}$$

Тоді магнітний потік буде:

$$\Phi_a = \frac{60 \cdot a \cdot E}{p \cdot n \cdot N} = \frac{60 \cdot 8,3}{3700 \cdot 552} = 2,44 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}.$$

Індукція в сердечнику якоря

$$B_a = \frac{\Phi_a \cdot 10^4}{2 \cdot 0,93 \cdot l_0 \cdot h_a} = \frac{2,44 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4}{2 \cdot 0,93 \cdot 0,4 \cdot 2,5} = 1,31 \text{ Тл},$$

що допускається.

При цьому 0,93 – коефіцієнт, враховуючий лакову ізоляцію між листами пакету якоря.

3. Індукція в повітряному проміжку.

$$B_{\delta} = \frac{\Phi_a \cdot 10^4}{b_0 \cdot l_0} = \frac{2,44 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4}{3,97 \cdot 2,5} = 0,246 \text{ Тл.}$$

МРС повітряного проміжку

$$AW_{\delta} = 1,6 \cdot B_{\delta} \cdot k_{\delta} \cdot \delta \cdot 10^4 = 1,6 \cdot 0,246 \cdot 1,17 \cdot 0,05 \cdot 10^4 = 230 \text{ А.}$$

де

$$k_{\delta} = \frac{t_1 + 10 \cdot \delta}{b_{z\max} + 10 \cdot \delta} = \frac{0,906 + 10 \cdot 0,05}{0,706 + 10 \cdot 0,05} = 1,17 \text{ коефіцієнт повітряного проміжку.}$$

4. Індукція та МРС для зубців якоря.

Індукція в зубці

$$B_3 = \frac{B_{\delta} \cdot t_1}{0,93 \cdot b_{z\min}} = \frac{0,246 \cdot 0,906}{0,93 \cdot 0,34} = 0,7 \text{ Тл.}$$

МРС для зубців якоря

$$AW_3 = H_3 \cdot L_3 = 261 \cdot 0,0186 = 4,9 \text{ А}$$

$$L_3 = 2 \cdot h_{\pi} = 2 \cdot 9,3 = 18,6 \text{ мм.}$$

$H_3 = 261 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ напруженість по кривій намагнічування електротехнічної сталі 2212.

5. МРС для сердечника якоря.

Середня довжина магнітного потоку в сердечнику якоря.

$$L_a = \frac{\pi \cdot (D_a - 2 \cdot h_{\pi} - h_a)}{2 \cdot \rho} = \frac{\pi \cdot (34,6 - 18,6 - 4)}{2} = 18,85 \text{ мм.}$$

МРС в сердечнику якоря.

$$AW_a = H_a \cdot L_a = 1180 \cdot 0,01885 = 22,2 \text{ A},$$

$H_a = 1180 \frac{\text{A}}{\text{м}}$ напруженість по кривій намагнічування електротехнічної сталі 2212.

6. Розміри станини.

Поперечний переріз станини

$$S_c = \frac{\Phi_a \cdot \sigma \cdot 10^4}{2 \cdot B_c} = \frac{2,44 \cdot 1,08 \cdot 10^4}{2 \cdot 1,2} = 1,1 \text{ см}^2$$

де

$\sigma = 1,08$ коефіцієнт магнітного розсіювання для машин малої потужності.

$B_c = 1,2$ Тл попередньо прийнята індукція в станинію

Осьова довжина

Приймаємо $l_c = 35$ мм.

Висота станини

$$h_c = \frac{S_c}{k_2 \cdot l_c} = \frac{1,1}{1 \cdot 3,5} = 0,275 \text{ см};$$

де

$k_2 = 1$ для випадку суцільної сталеві станини.

Приймаємо $h_c = 0,3$ см.

7. МРС для станини.

Індукція в станині.

$$B_c = \frac{\Phi_a \cdot \sigma \cdot 10^4}{2 \cdot k_2 \cdot b_c \cdot l_c} = \frac{2,44 \cdot 10^{-4} \cdot 1,08 \cdot 10^4}{2 \cdot 1 \cdot 0,3 \cdot 4} = 1,2 \text{ Тл.}$$

МРС для станини

$$AW_c = H_c \cdot L_c = 8,1 \cdot 8,6 = 69,8 \text{ A},$$

де

$H_c = 8,1 \frac{\text{A}}{\text{см}}$ напруженість по кривій намагнічування корпусної сталі 10;

$L_c = 8,6 \text{ см}$ довжина шляху магнітного потоку в станині.

8. Загальна МРС збудження

$$AW = AW_\delta + AW_3 + AW_a + AW_c = 230 + 4,9 + 22,2 + 69,8 = 327 \text{ A}.$$

9. Розрахунок характеристика холостого ходу машини.

Під характеристикою холостого ходу машини приймається залежність ЕРС якоря від струму або МРС збудження при постійній швидкості обертання та струмі якоря, рівному нулю.

Розрахунок точки холостого ходу, яка відповідає номінальному значенні ЕРС $E=8,3 \text{ В}$ був проведений вище. Розрахунок інших точок, які відповідають значенням $0,5E; 0,6E; 0,8E; 0,9E; 1,1E; 1,3E$ зведений в табл. 3.1.

	0. 5E	0. 6E	0. 8E	0. 9E	1 E	1. 1E	1. 3E
$\Phi_a \cdot 10^{-4}, \text{Вб}$	1,22	1,464	1,952	2,196	2,44	2,684	3,172
$\Phi_a, \text{в.о.}$	0,25	0,30	0,40	0,45	0,50	0,55	0,65
$B_\delta, \text{Тл}$	0,123	0,1476	0,1968	0,2214	0,246	0,2706	0,3198
$B_3, \text{Тл}$	0,35	0,42	0,56	0,63	0,7	0,77	0,91
$B_a, \text{Тл}$	0,655	0,786	1,048	1,179	1,31	1,441	1,703
$B_c, \text{Тл}$	0,6	0,72	0,96	1,08	1,2	1,32	1,56
$H_3, \text{A/M}$	80	146	195	226	261	299	407
$H_a, \text{A/M}$	236	306	555	779	1180	1780	7370

$H_c, A/M$	300	350	530	650	810	1000	1400
AW_δ, A	115	138	184	207	230	253	299
AW_3, A	1,5	2,7	3,6	4,2	4,85	5,56	7,6
AW_a, A	4,4	5,8	10,5	14,7	22,2	33,6	139
AW_c, A	25,8	30,1	46	56	69,8	86	120,4
AW, A	146,7	176,6	244	282	327	378	566
$AW, в. о.$	0,05	0,06	0,09	0,10	0,11	0,13	0,20
$\frac{AW_\delta + AW_3}{2}, A$	58,2	70,4	93,8	106	117,4	129	153

Характеристика холостого ходу представлена на рис. 3.4.

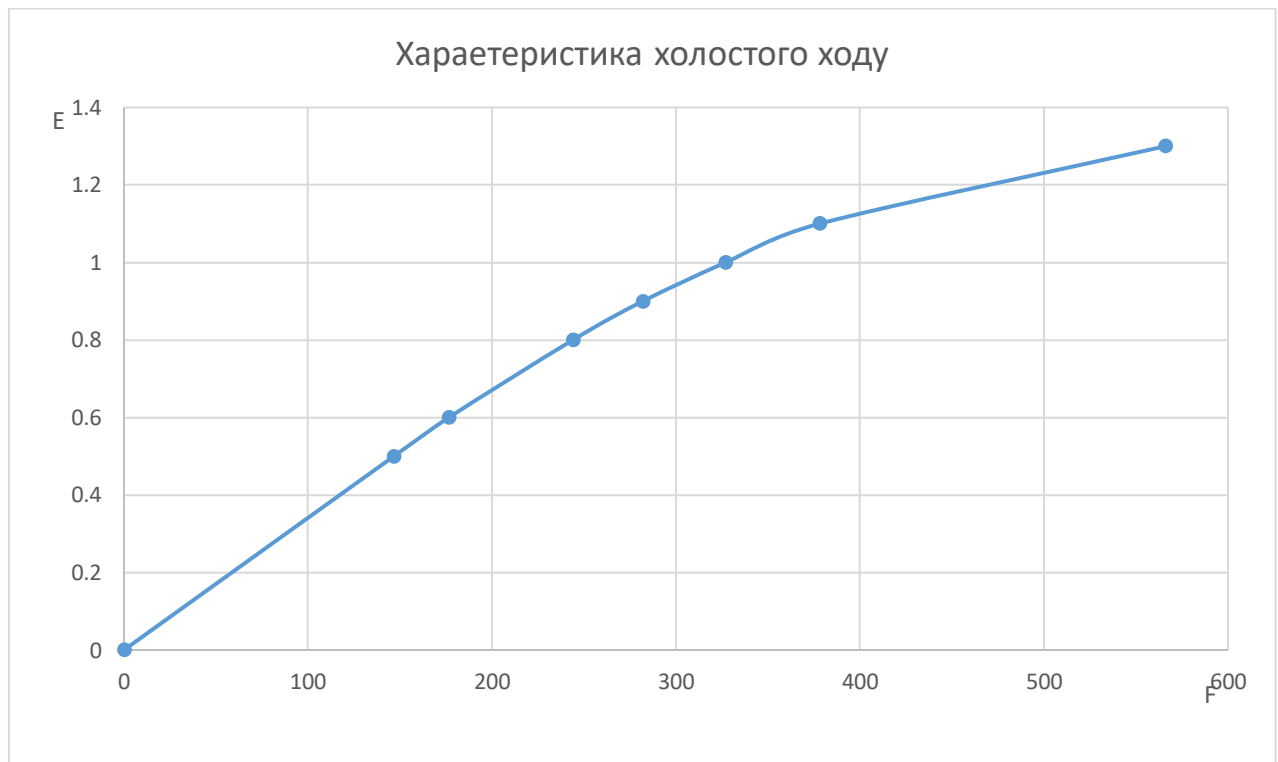


Рис.3.4. Характеристика холостого ходу.

10. Вибір типу і параметрів магніту.

Для системи збудження обираємо барій-феритовий магніт типу 24 БА210.

Характеристика розмагнічування і характеристика магнітного повернення зображена на рис. 3.5. Координати контрольних точок приведені в табл. 3.2.

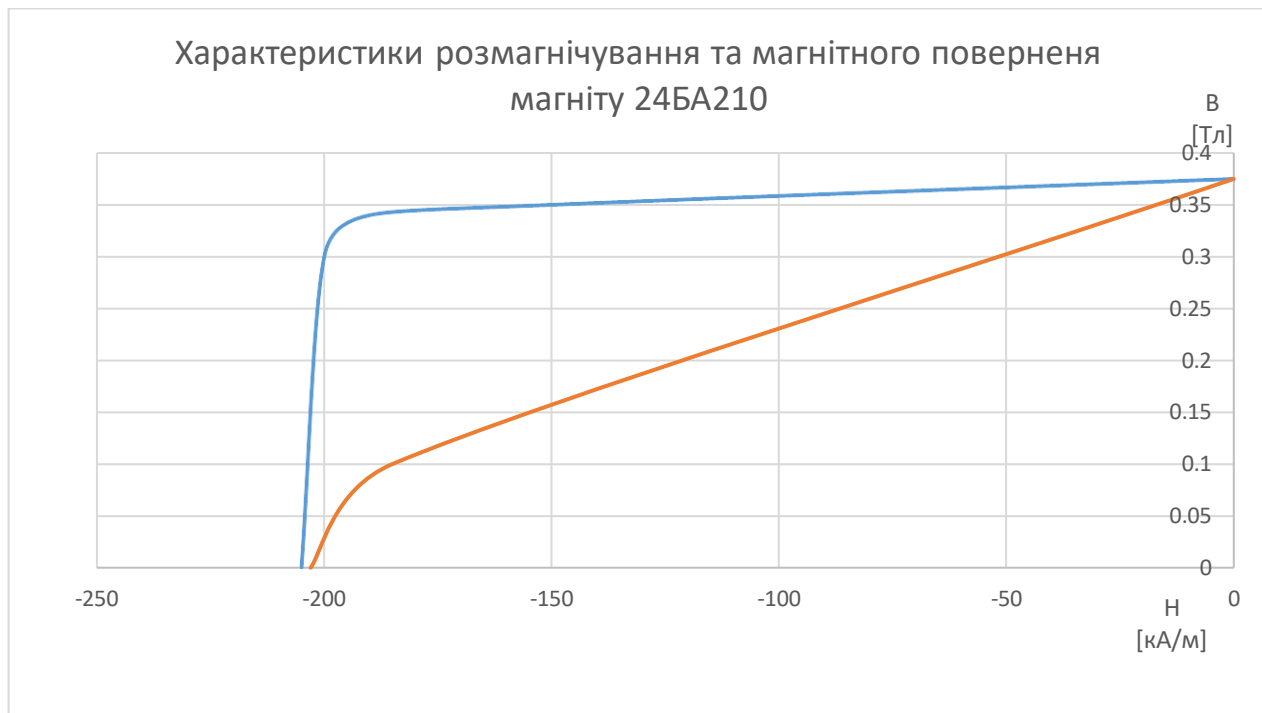


Рис.3.5. Характеристики розмагнічування та магнітного повернення магніту 24БА210.

Табл. 3.2.

$H_{св}$	H_{δ}	H_a	$H_{ц}$	H_k	$H_{см}$	W
кА/м						$\frac{кДж}{м^3}$
205	130	203	186	187	210	12
B_r	B_{δ}	B_a	$B_{ц}$	Ол	Кв	$\left(\frac{B}{H}\right) \cdot d$
Тл					$\frac{мкТл}{м}$	
0.375	0.185	0.336	0.303	0.18	1.42	1.42

11. Розрахунок провідності розсіювання магніту.

Магнітна система двигуна зображена на рис. 3.3.

11.1. Довжина магнітної силової лінії магніту.

$$l_m = h_m = 7 \text{ мм.}$$

11.2. Базове значення МРС.

$$AW_c = 2 \cdot l_m \cdot H_c = 2 \cdot 7 \cdot 205 = 2870 \text{ А},$$

де

$$H_c = 205 \frac{\text{А}}{\text{мм}} \text{ коерцитивна сила магніту.}$$

11.3. Базове значення магнітного потоку.

$$\Phi_r = B_r \cdot L_M \cdot b_0 = 0,375 \cdot 3 \cdot 3,97 \cdot 0,001 = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ Вб},$$

де

$$B_r = 0,375 \text{ Тл} \text{ залишкова індукція постійного магніту.}$$

11.4. Базове значення провідності.

$$\lambda_\delta = \frac{\Phi_r}{AW_c} = \frac{4,9 \cdot 10^{-4}}{2870} = 17 \cdot 10^{-8}$$

11.5. Для зручності розрахунку, скоби магніту замінюємо еквівалентними по величині провідності розсіювання паралельними призмами рис. 3.6.

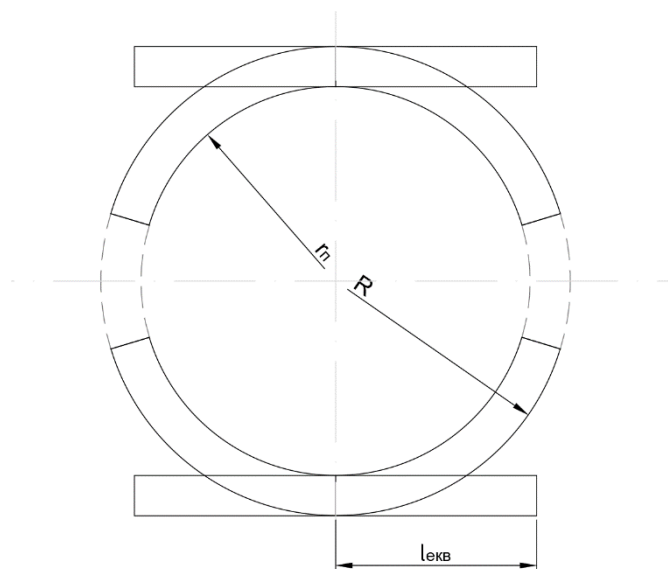


Рис.3.6.

Так як в даному випадку довжина ніжки підковоподібного магніту дорівнює нулю, то еквівалентна довжина призм дорівнює:

$$l_{\text{екв}} = \frac{2,4 \cdot \left(\frac{R-a}{2}\right) - (\tau - b_0)}{2} = \frac{2,4 \cdot \left(\frac{17,8-7}{2}\right) - (54,4 - 39,7)}{2} = 44 \text{ мм.}$$

11.6. Провідність між двома паралельними прямокутниками з сторонами $l_{\text{екв}}$ та L_M , оберненими один до одного рис. 3.7.

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 10^{-8}}{d} \cdot \frac{L_M + d}{\pi} \cdot 0,307 \cdot l_{\text{екв}} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 10^{-8}}{3,56} \cdot \frac{3 + 3,56}{\pi} \cdot 0,307 \cdot 4,4 \\ &= 5,2 \cdot 10^{-8} \text{ Гн.} \end{aligned}$$

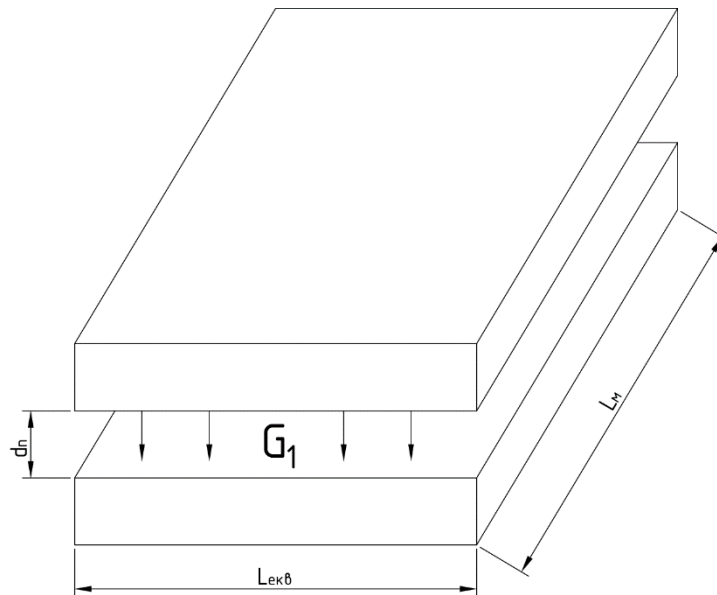


Рис.3.7.

11.7. Провідність між двома плоскими паралельними поверхнями, які лежать в одній площині рис.3.8.

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= \frac{0,4 \cdot \pi \cdot 10^{-8}}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \left(2 \cdot m^2 - 1 + 2 \cdot m \cdot \sqrt{m^2 - 1} \right) \\ &= \frac{0,4 \cdot 10^{-8}}{2} \cdot \ln \left(2 \cdot 1,16^2 - 1 + 2 \cdot 1,16 \cdot \sqrt{1,16^2 - 1} \right) = 0,233 \cdot 10^{-8} \text{ Гн,} \end{aligned}$$

де

$$m = \frac{(l_{\text{екв}} + l_m)}{l_{\text{екв}}} = \frac{(4,4 + 7)}{4,4} = 1,16.$$

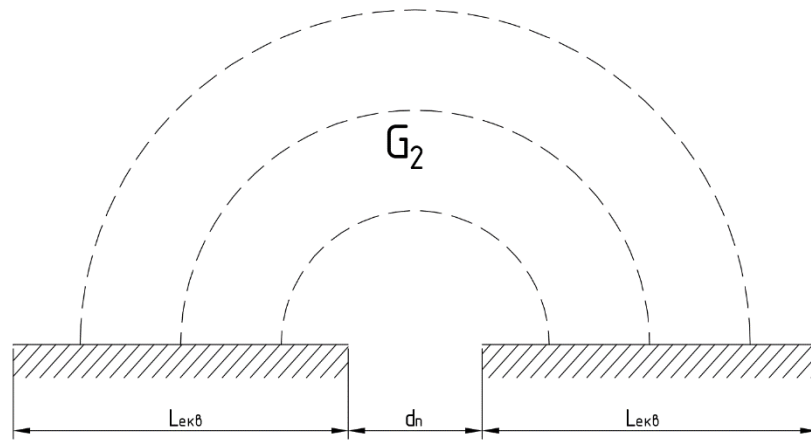


Рис.3.8.

11.8. Сумарне значення провідності.

$$\lambda = 2 \cdot (\lambda_1 + 2 \cdot \lambda_2) = 2 \cdot (5,2 + 2 \cdot 0,233) \cdot 10^{-8} = 11,3 \cdot 10^{-8} \text{ Гн.}$$

12. Кут розсіювання.

$$\gamma = \text{ATN}(\lambda - \lambda_\delta) = \text{ATN}\left(\frac{11,3 \cdot 10^{-8}}{17 \cdot 10^{-8}}\right) = 34^\circ.$$

13. По результатах розрахунку магнітного кола двигуна будемо характеристику намагнічування 1 магнітного кола, рис. 3.9.

Характеристика будується у відносних одиницях. За базові значення потоку та МРС прийнято $\Phi_r = 4,9 \cdot 10^{-4}$ Вб, $AW_c = 2870$ А.

На цьому ж графіку будемо характеристику розмагнічування 2 та характеристику магнітного повернення магніту 3. Шляхом графічних побудов отримаємо значення магнітного потоку, яке необхідне для створення потрібного значення ЕРС. Характеристика магнітного повернення представляє собою пряму паралельну дотичну до кривої $\mu_0 M = f(H)$. в точці B_r , проведена з точки O , яка є точкою перетину кривої розмагнічування та прямої проведеної з початку координат під кутом γ до осі абсцисс. Точка A – точка перетину характеристики магнітного повернення та кривої намагнічування. Ордината точки A – є значення графічно отримане з системи машини у відносних одиницях $\Phi_a^* = 0,5$ в. о.

14. Перевіряємо величину графічно отриманої ЕРС.

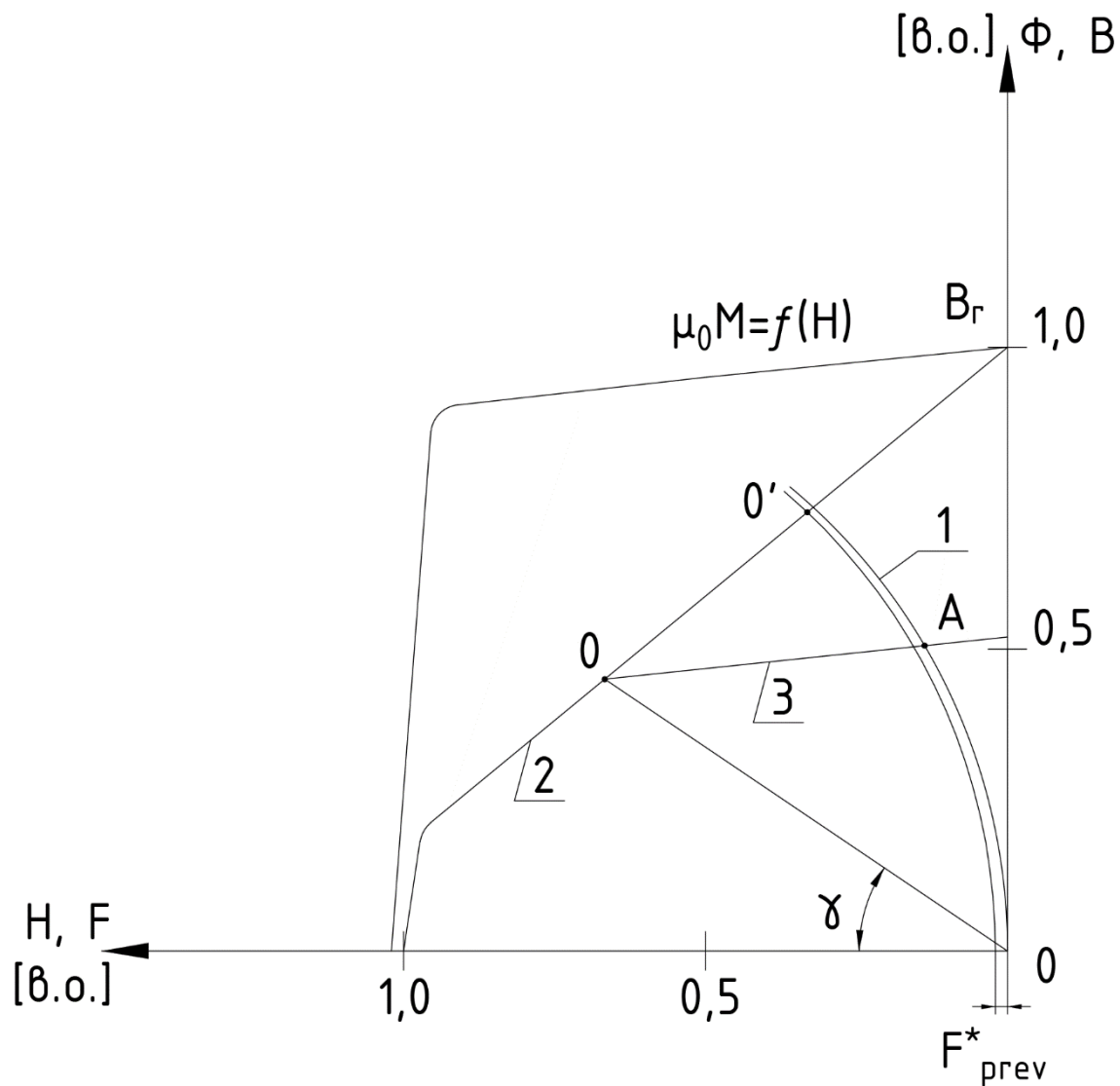


Рис.3.9.

Це значення не повинно відрізнятись від попередньо прийнятого значення ЕРС більш ніж на 5%.

$$E = \frac{N \cdot p \cdot n \cdot \Phi_a}{60 \cdot a} = \frac{552 \cdot 3700 \cdot 2,54 \cdot 10^{-4}}{60} = 8,34 \text{ В.}$$

де

$$\Phi_a = \Phi_a \cdot \Phi_c = 0,5 \cdot 4,9 \cdot 10^{-4} = 2,45 \cdot 10^{-4} \text{ Вб.}$$

Це складає

$$\frac{8,34}{8,3} \cdot 100 = 100,5\% \text{ що цілком допустимо.}$$

15. Розрахунок МРС реакції якоря.

Реакція якоря в загальному випадку в машинах постійного струму може проявлятися у вигляді:

- а) Поперечною складовою МРС якоря.
- б) Поздовжньою складовою МРС якоря.
- с) Комутаційною складовою МРС якоря.

15.1. Наявність МРС поперечної реакції якоря AW_q призводить до появи поперечного магнітного потоку, який посилює потік під одним краєм полюса, та послабляє його під другим. В насиченій машині поперечна МРС реакції якоря послабляє поле полюсів. В даному випадку машина не насичена, тому підсилення потоку під одним краєм полюса компенсує послаблення потоку під другим краєм полюса. В результаті послаблення поля полюсів немає, $AW_{aqd} = 0$, рис.3.10.

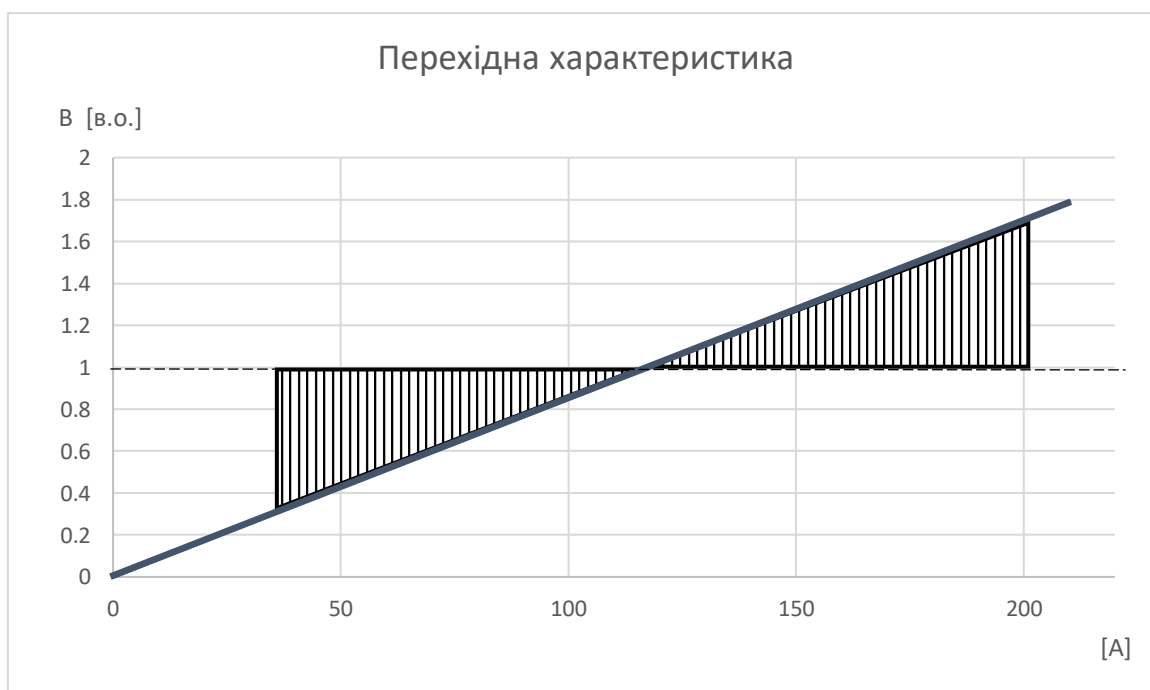


Рис.3.10. Перехідна характеристика двигуна.

15.2. Поздовжня складова МРС реакції якоря від самовільного здвигу щіток.

$$AW_{щ} = 2 \cdot b \cdot A = 2 \cdot 0,02 \cdot 42,2 = 1,7 \text{ А,}$$

де

$$b = 0,015 \dots 0,030 \text{ см.}$$

15.3. Комутаційна складова МРС реакції якоря.

$$AW_{\text{щ}} = b_{\text{к}} \cdot A \cdot i_{\text{а}} \cdot w \cdot \frac{\left(\frac{1 + 0,2 \cdot \pi \cdot \tau \cdot 10^{-8}}{\sigma_o \cdot \lambda} \right)}{(a_o \cdot b_o \cdot i_{\text{а}} + w \cdot i_{\text{а}})} = 0,76 \cdot 42,2 \cdot \frac{\left(\frac{1 + 0,2 \cdot \pi \cdot 5,44}{0,735 \cdot 4,66} \right)}{(3,3 + 2,18 \cdot 1)} = 10 \text{ А.}$$

де

$i_{\text{а}} = \frac{I}{I_{\text{а}}} = 1$ відносна величина струму якоря в долях його номінального значення;

$w = \frac{W}{W_{\text{н}}} = 1$ відносна величина кутової швидкості обертання якоря в долях її

номінального значення;

$$a_o = \frac{1,7 \cdot a \cdot A}{vU_{\text{щ}}} = \frac{1,7 \cdot 0,6 \cdot 3,52}{1,1} = 3,3;$$

$$b_o = \frac{1,7 \cdot b \cdot A}{\Delta U_{\text{щ}}} = \frac{1,7 \cdot 0,4 \cdot 3,52}{1,1} = 2,18;$$

при цьому

$$A = \frac{R_{\text{щ}} \cdot T}{L_{\text{с}}} = \frac{0,33 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3}}{10,3 \cdot 10^{-5}} = 3,52;$$

$$R_{\text{щ}} = \frac{\Delta U_{\text{щ}}}{2 \cdot I_{\text{щ}}} = \frac{1,1}{2 \cdot 1,67} = 0,33 \text{ Ом};$$

$$T = \frac{b_{\text{щ}}}{v_{\text{к}}} = \frac{0,4}{3,55} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ сек.};$$

$$L_{\text{с}} = \frac{w_{\text{с}} \cdot \lambda \cdot A \cdot l_o \cdot b_{\text{щ}}}{i_{\text{ан}}} = \frac{23 \cdot 4,66 \cdot 42,4 \cdot 2,5 \cdot 0,76}{0,835} = 10,3 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} - \text{ середня}$$

еквівалентна індуктивність секції якоря;

$\Delta U_{\text{щ}} = 1,1 \text{ В}$ перехідне падіння напруги в контактах двох різнойменних щіток;

$$I_{\text{щ}} = \frac{I_{\text{а}}}{p} = \frac{1,67}{1} = 1,67 \text{ А} - \text{ струм однієї щітки};$$

$$i_{\text{ан}} = \frac{I_a}{p} = \frac{1,67}{2} = 0,835 \text{ A};$$

Для щіток МГ-4 $a_0 = 0,6 \text{ В}$, $b_0 = 0,5 \text{ В}$ складові перехідного падіння напруги контактах щіток.

15.4. Сумарна МДС реакції якоря.

$$AW_p = AW_{\text{щ}} + AW_k = 10 + 1,7 = 11,7 \text{ А.}$$

16. Величина струму при реверсі.

$$I_p = \frac{(2 \cdot U - \Delta U_{\text{щ}})}{R_a} = \frac{(2 \cdot 12 - 1,1)}{1,56} = 14,7 \text{ А.}$$

$$\frac{I_p}{I_a} = \frac{14,7}{1,67} = 8,8.$$

17. Величина МРС реакції якоря при реверсі.

$$AW_{\text{prev}} = \frac{(AW_q + AW_{\text{щ}} + AW_k) \cdot I_p}{I_a} = (0 + 10 + 1,7) \cdot 8,8 = 103 \text{ А.}$$

$$\frac{AW_{\text{prev}}}{AW_c} = \frac{103}{2870} = 0,035 \text{ в. о.}$$

Можна зробити висновок про те що, двигун можна реверсувати при номінальній напрузі, так як точка О' на графіку кривої розмагнічування лежить правіше точки відходу прямої повернення. Рис.3.9.

18. Повна МРС збудження двигуна при навантаженні на пару полюсів.

$$AW_B = AW_d + AW_z + AW_a + AW_c - AW_p = 230 + 4,9 + 22,2 + 69,8 - 11,7 = 315,2 \text{ А.}$$

3.6. Розрахунок втрат та ККД.

1. Втрати в міді якоря.

$$P_{\text{м.а}} = I_a^2 \cdot R_a = 1,67^2 \cdot 1,56 = 4,35 \text{ Вт.}$$

2. Перехідні втрати в контактах щіток і колектора.

$$P_{щ,к} = \Delta U_{щ} \cdot I_a = 1,67 \cdot 1,1 = 1,4 \text{ Вт.}$$

3. Магнітні втрати на гістерезис та вихрові струми в сталі якоря.

3.1. Маса сталі сердечника якоря

$$G_{с.а} = 5,5 \cdot (D_a - 2 \cdot h_n)^2 \cdot l_0 \cdot 10^{-3} = 5,5 \cdot (3,46 - 2 \cdot 0,93)^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,035 \text{ кг.}$$

3.2. Маса сталі зубців якоря.

$$G_{с.з} = 7,8 \cdot Z \cdot z_{ср} \cdot h_n \cdot l_0 \cdot 10^{-3} = 7,8 \cdot 12 \cdot 0,34 \cdot 0,93 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,074 \text{ кг.}$$

3.3. Втрати на гістерезис та вихрові струми в сталі сердечника якоря та в сталі зубців якоря.

$$P_{с.а} = p_a \cdot V_a^2 \cdot G_{с.а} = 8,5 \cdot 1,316^2 \cdot 0,035 = 0,51 \text{ Вт;}$$

$$P_{с.з} = p_z \cdot V_z^2 \cdot G_{с.з} = 8,26 \cdot 0,703^2 \cdot 0,074 = 0,3 \text{ Вт;}$$

де

$$p_a = 2 \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{f}{100}\right) + 2,5 \cdot \rho \cdot \left(\frac{f}{100}\right)^2 = 2 \cdot 3,5 \cdot \left(\frac{61,7}{100}\right) + 2,5 \cdot 4,4 \cdot \left(\frac{61,7}{100}\right)^2 = 8,5 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}} - \text{питомі втрати в сталі якоря;}$$

$$p_z = 1,5 \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{150}{100}\right) + 3 \cdot \rho \cdot \left(\frac{150}{100}\right)^2 = 1,5 \cdot 3,5 \cdot \left(\frac{61,7}{100}\right) + 3 \cdot 4,4 \cdot \left(\frac{61,7}{100}\right)^2 = 8,26 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}} - \text{питомі втрати в сталі зубців якоря;}$$

$$V_a' = \frac{V_a \cdot E'}{E} = \frac{1,31 \cdot 8,34}{8,3} = 1,316 \text{ Тл;}$$

$$V_z' = \frac{V_z \cdot E'}{E} = \frac{0,7 \cdot 8,34}{8,3} = 0,703 \text{ Тл.}$$

$\varepsilon = 3,5$; $\rho = 4,4$ – коефіцієнти сталі 2212.

3.4. Повні магнітні втрати на гістерезис та вихрові струми в сталі якоря.

$$P_c = P_{с.а} + P_{с.з} = 0,51 + 0,3 = 0,81 \text{ Вт.}$$

4. Механічні втрати в двигуні.

4.1. Втрати на тертя щіток об колектор.

$$P_{\text{тр.щ}} = 9,81 \cdot \mu \cdot \rho_{\text{щ}} \cdot 2 \cdot S'_{\text{щ}} \cdot \vartheta_k = 9,81 \cdot 0,2 \cdot 0,212 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 3,55 = 0,59 \text{ Вт.}$$

4.2. Втрати на тертя в підшипниках.

$$P_{\text{тр.п}} = k_m \cdot G_a \cdot n \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0,227 \cdot 3700 \cdot 10^{-3} = 1,68 \text{ Вт,}$$

де

$$k_m = 2$$

$$G_a = \frac{\pi}{4} \cdot (D_a^2 \cdot l_0 + D_k^2 \cdot l_k) \cdot \gamma \cdot 10^{-3} =$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot (3,46^2 \cdot 2,5 + 1,83^2 \cdot 1,2) \cdot 8,5 \cdot 10^{-3} = 0,227 \text{ кг. — маса якоря.}$$

4.3. Втрати на тертя якоря об повітря.

$$P_{\text{тр.в}} = 2 \cdot D_a^3 \cdot n^3 \cdot l_0 \cdot 10^{-14} = 0,1 \text{ Вт;}$$

4.4. Повні механічні втрати в машині.

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{тр.щ}} + P_{\text{тр.п}} + P_{\text{тр.в}} = 0,59 + 1,68 + 0,1 = 3,27 \text{ Вт.}$$

5. Загальні втрати в двигуні.

$$\Sigma P = \xi_0 \cdot (P_{\text{м.а}} + P_{\text{щ.к}} + P_c + P_{\text{мех}}) = 1,08 \cdot (4,35 + 1,84 + 0,81 + 2,37)$$

$$= 10,11 \text{ Вт.}$$

6. Споживана потужність.

$$P_1 = U \cdot I = 12 \cdot 1,67 = 20,04 \text{ Вт.}$$

7. Корисна потужність на валу.

$$P_2 = P_1 - \Sigma P = 20,04 - 10,11 = 9,93 \text{ Вт.}$$

8. Коефіцієнт корисної дії при номінальному навантаженні двигуна.

$$\eta = \frac{U \cdot I - \Sigma P}{U \cdot I} \cdot 100\% = \frac{12 \cdot 1,67 - 10,11}{12 \cdot 1,67} \cdot 100\% = 49,551 \%$$

9. Обертаючий момент електродвигуна.

$$M = 97,5 \cdot \frac{P_2}{n} = 97,5 \cdot \frac{9,93}{3700} = 0,262 \text{ кгсм.}$$

3.7. Розрахунок робочих характеристик.

1. Падіння напруги в обмотці якоря.

$$\Delta U_a = I_a \cdot R_a = 1,67 \cdot 1,56 = 2,6 \text{ В.}$$

2. Номінальна ЕРС.

$$E = U - \Delta U_a - \Delta U_{щ} = 12 - 2,6 - 1,1 = 8,3 \text{ В.}$$

3. Швидкість обертання.

$$n = \frac{60 \cdot a \cdot E}{p \cdot N \cdot \Phi_a} = \frac{60 \cdot 8,3 \cdot 1}{1 \cdot 552 \cdot 2,45} = 3682 \text{ об/хв.}$$

4. Втрати в міді якоря.

$$P_{м.а} = I_a^2 \cdot r_a = 1,67^2 \cdot 1,56 = 4,35 \text{ Вт.}$$

5. Перехідні втрати в контактах щіток та колектора.

$$P_{щ,к} = \Delta U_{щ} \cdot I_a = 1,67 \cdot 1,1 = 1,84 \text{ Вт.}$$

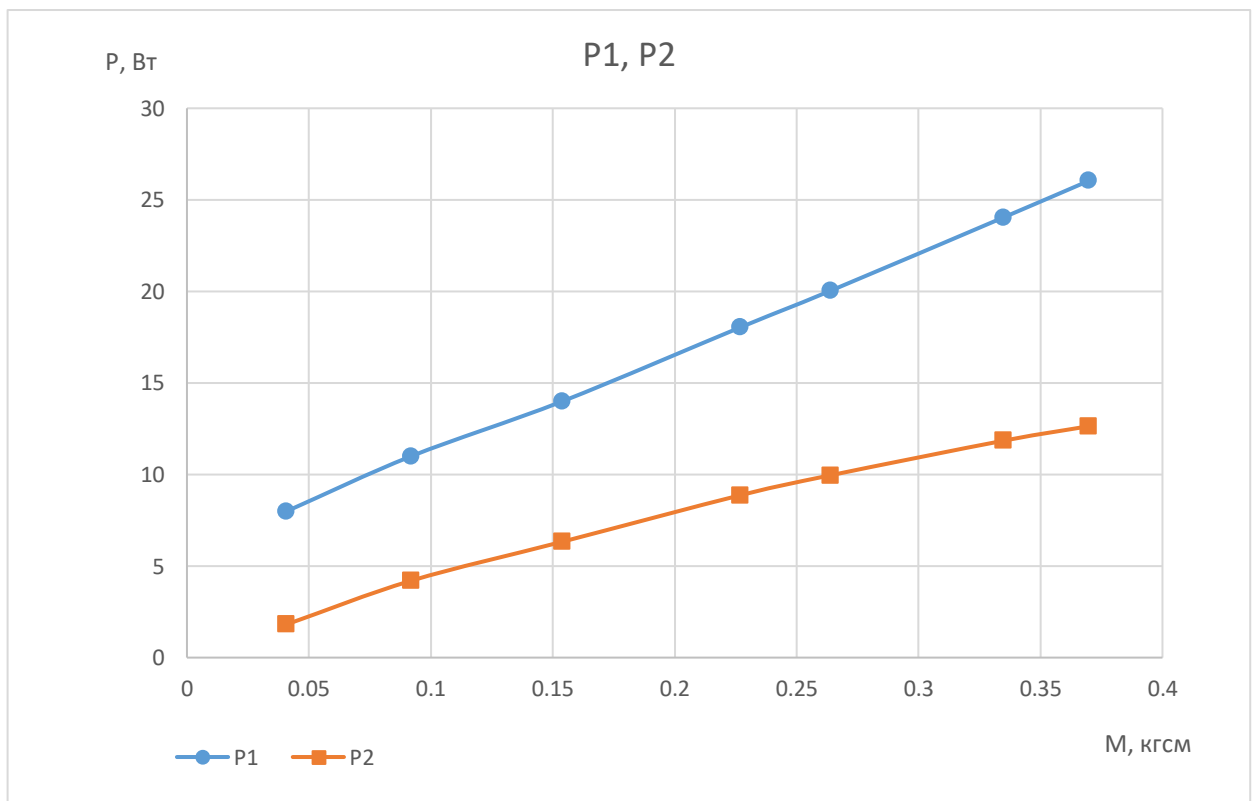
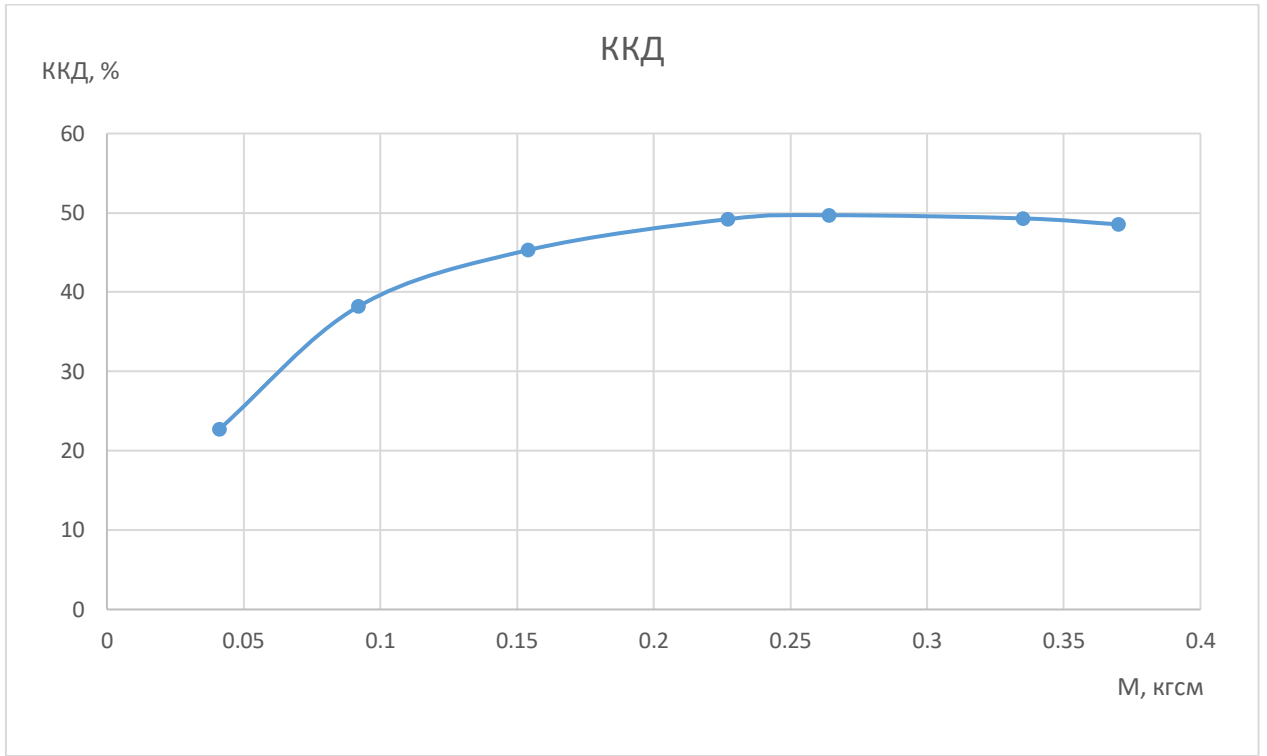
6. Дані розрахунку робочих характеристик при різних значеннях струму якоря приведені в табл 3.3.

Табл. 3.3.

$I_a, \text{ в. о.}$	0,4	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1,3
$I_a, \text{ А}$	0,668	0,835	1,17	1,5	1,67	2,0	2,17
$\Delta U, \text{ В}$	1,04	1,3	1,82	2,34	2,6	3,12	3,38
$E, \text{ В}$	9,86	9,6	9,07	8,56	8,3	7,78	6,84
$n, \frac{\text{об}}{\text{хв}}$	4374	4258	4027	3798	3682	3440	3333
$\Sigma P, \text{ Вт}$	6,19	6,81	7,67	9,17	10,1	12,2	13,41
$P_1, \text{ Вт}$	8	11	14	18,04	20,04	24,05	26,05
$P_2, \text{ Вт}$	1,82	4,2	6,33	8,87	9,96	11,85	12,64

ККД, %	22,7	38,2	45,3	49,2	49,7	49,3	48,54
М, кгсм.	0,041	0,092	0,154	0,227	0,264	0,335	0,37

По результатам розрахунків будуються робочі характеристики, які приведені на рис. 3.11.



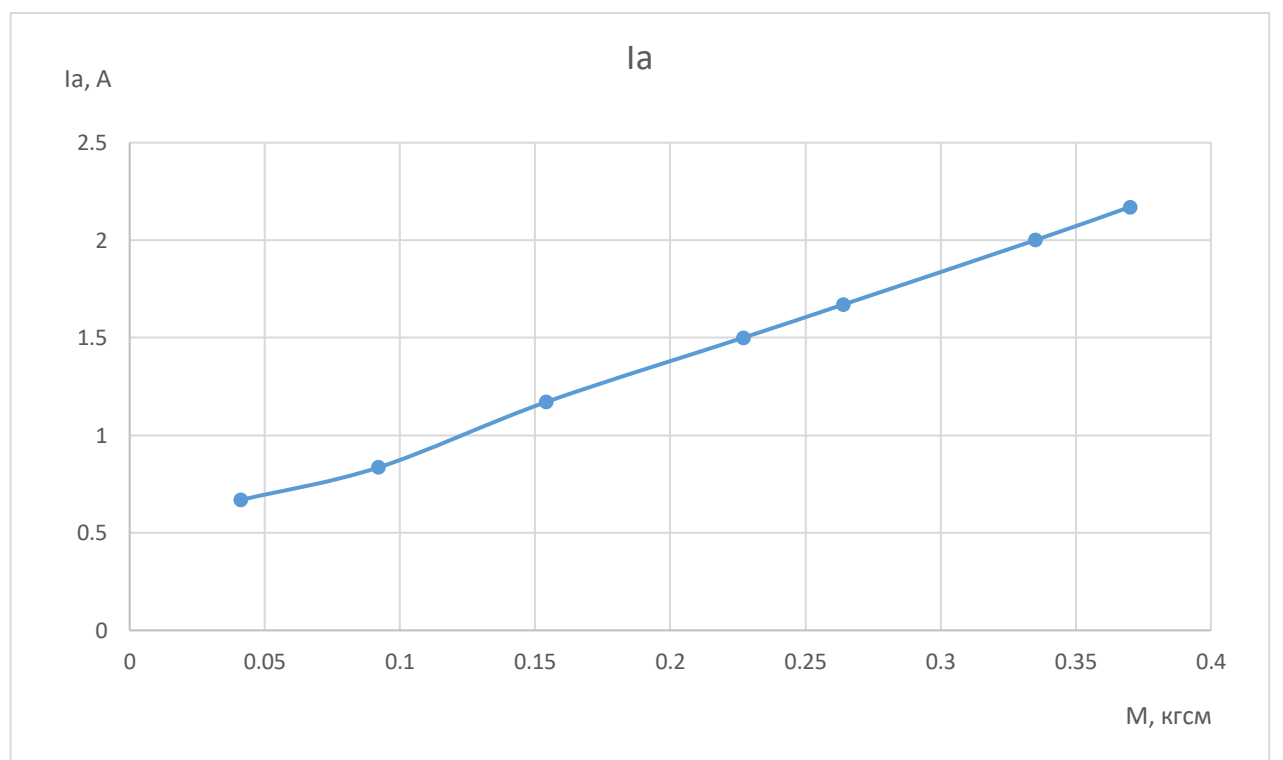
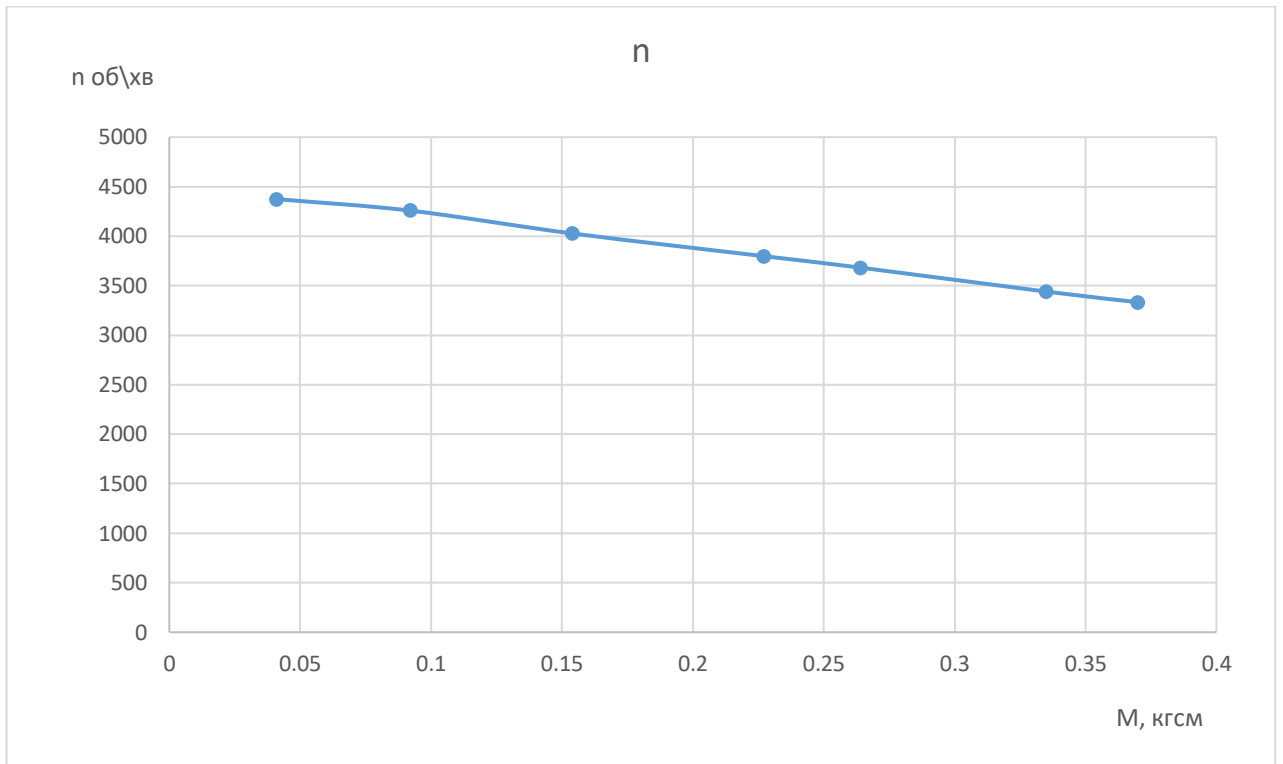


Рис.3.11. Робочі характеристики двигуна.

3.8. Розрахунок механічної та швидкісної характеристик.

1. Швидкісну характеристику визначає формула:

$$n = \frac{U - R_a \cdot I}{C_e \cdot \Phi}$$

де

$U = 12 \text{ В}$ – напруга живлення;

$R_a = R_a + r_{щ} = 1,56 + 0,66 = 2,22 \text{ Ом}$ – опір обмотки;

$C_e = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a} = \frac{552}{60} = 9,2 = \text{const}$ – визначається конструкцією машини;

I струм якоря.

Розрахунок характеристики зведений в табл.3.4.

Табл.3.4.

$I_a, \text{В. о.}$	0,3	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1,3
$I_a, \text{А}$	0,668	0,835	1,17	1,50	1,67	2,00	2,17
$n, \frac{\text{об}}{\text{хв}}$	4770	4501	4173	3845	3681	3352	3186
$n, \text{В. о.}$	1,29	1,22	1,13	1,04	0,99	0,91	0,86

По результатам табл.3.4. на рис.3.12. побудована характеристика $n = f(I)$.

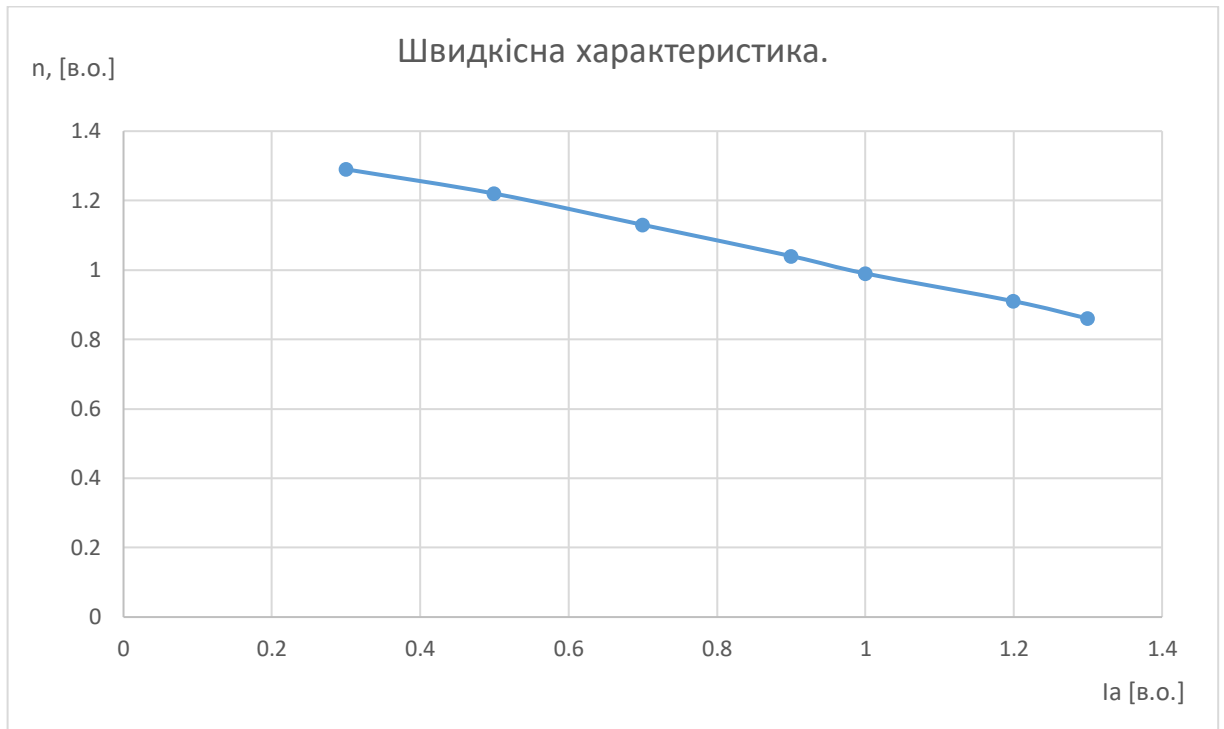


Рис.3.12. Швидкісна характеристика двигуна.

2. Механічну характеристику визначає формула:

$$n = \frac{U}{C_e \cdot \Phi - R_a} - \frac{M}{C_e \cdot C_m \cdot \Phi^2}$$

де

$$C_m = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{1 \cdot 552}{2 \cdot \pi \cdot 1} = 87,9$$

Розрахунок характеристики зведений в табл.3.5.

Табл.3.5.

М, кгсм	0,10	0,13	0,18	0,24	0,26	0,31	0,34
$n, \frac{\text{об}}{\text{хв}}$	4875	4741	4516	4247	4158	3933	3799

По результатах табл.3.5. на рис 3.13. побудована характеристика $n = f(M)$.

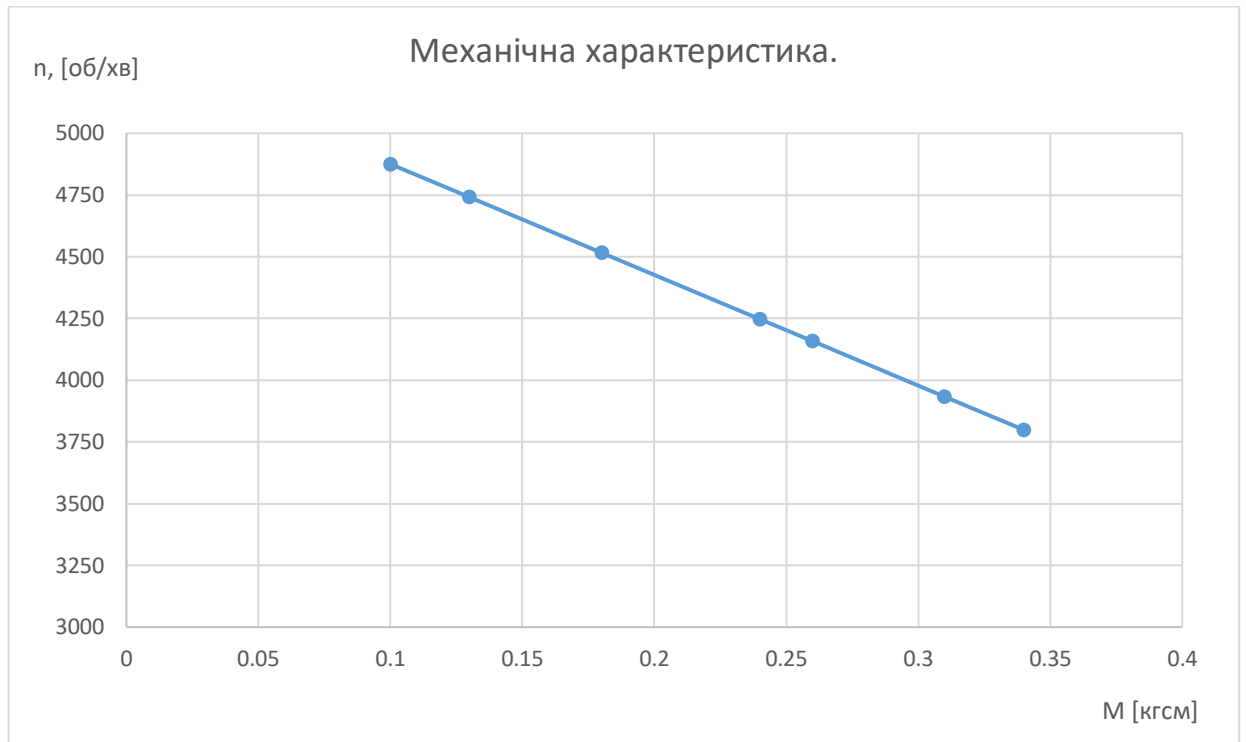


Рис.3.13. Механічна характеристика двигуна.

4. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК.

4.1. Перевищення температури якоря двигуна.

1. Питомі втрати в міді обмотки, сталі, якоря і тертя його об повітря на 1 см довжини його пазу.

$$\omega_{m.a} = \frac{P_{ma}}{z \cdot l_a} = \frac{4,35}{12 \cdot 6,65} = 0,0545 \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{паз}};$$

$$\omega_c = \frac{P_c}{z \cdot l_0} = \frac{0,81}{12 \cdot 2,5} = 0,027 \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{паз}};$$

$$\omega_{трв} = \frac{P_{трв}}{z \cdot l_0} = \frac{0,1}{12 \cdot 2,5} = 0,003 \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{паз}}.$$

2. Середнє перевищення температури обмотки якоря над навколишнім середовищем при сталому режимі роботи.

$$\Delta\theta_a = \frac{\left(1 + a \cdot z_1 \cdot \frac{\beta}{\lambda' \cdot \Pi}\right) \cdot \omega_{m.a} + \omega_{c.a} + \omega_{тр.в}}{a \cdot z_1} =$$

$$= \frac{\left(1 + 0,00267 \cdot 0,706 \cdot \frac{0,04}{0,00013 \cdot 2,678}\right) \cdot 0,0545 + 0,027 + 0,003}{0,00267 \cdot 0,706} = 42,2 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ — що}$$

цілком допустимо, так як $\theta_{\text{дод}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$.

При цьому

$$a = a' \cdot (1 + 0,1 \cdot \vartheta_a) = 0,0016 \cdot (1 + 0,1 \cdot 6,7) = 0,00267 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{град}} - \text{результуючий}$$

коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні якоря;

$$\lambda' = 0,0012 \dots 0,0013 \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{град}} - \text{коефіцієнт теплопровідності міжвиткової ізоляції}$$

провідників в пазу та пазової ізоляції;

$\Pi = 2,678$ – периметр пазу;

$\beta = 0,025$ см.

4.2. Перевищення температури колектора двигуна.

1. Повні втрати на колекторі.

$$P_k = P_{\text{ш.к}} + P_{\text{тр.щ}} = 1,84 + 0,59 = 2,43 \text{ Вт}$$

2. Поверхня охолодження колектора.

$$S_k = \pi \cdot D_k \cdot l_k = \pi \cdot 1,83 \cdot 1,2 = 6,895 \text{ см}^2.$$

3. Середнє перевищення температури колектора над температурою навколишнього середовища при сталому режимі.

$$\theta_k = \frac{P_k}{\alpha_k \cdot (1 + 0,1 \cdot \vartheta_k) \cdot S_k} = \frac{2,43}{0,0045 \cdot (1 + 0,1 \cdot 3,3) \cdot 6,895} = 58,9^\circ\text{C},$$

де

$$\alpha_k = 0,004 \dots 0,007 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2 \cdot \text{град}} - \text{коефіцієнт тепловіддачі поверхні колектора.}$$

5. ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З ПОСТІНИМИ МАГНІТАМИ.

5.1. Регулювання імпульсною напругою живлення.

5.1.1. Опис методу.

Якщо двигун постійного струму живиться від джерела постійного струму, наприклад від акумуляторної батареї, то при необхідності регулювання його частоти обертання використовують імпульсні регулятори (рис.5.1.). На цій схемі: U напруга живлення; U_M імпульсна напруга; R_a , L_a та U_i відповідно активний опір, індуктивність та ЕРС обмотки якоря; Φ_p магнітний потік полюса. Напруга U перетворюється в $U_M(t)$ (рис.5.2.) за допомогою тиристора ТН. Через наявність індуктивності L_a після відключення тиристора струм I зберігає деякий час попередній напрямок. Для створення шляху цьому струму включений діод оберненого струму VD , шунтуючий коло двигуна. Якщо частоту слідування імпульсів напруги $U_M(t)$ обрати достатньо високою, пульсація струму якоря стає незначною, що призводить до покращення його гармонічного складу та зниженню втрат.

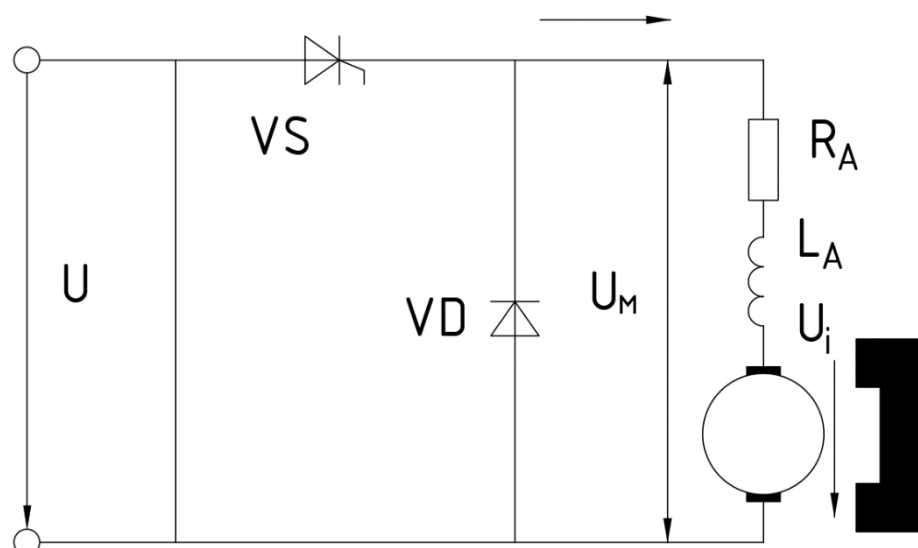


Рис.5.1. Схема підключення двигуна при імпульсному керуванні тиристорного комутатора.

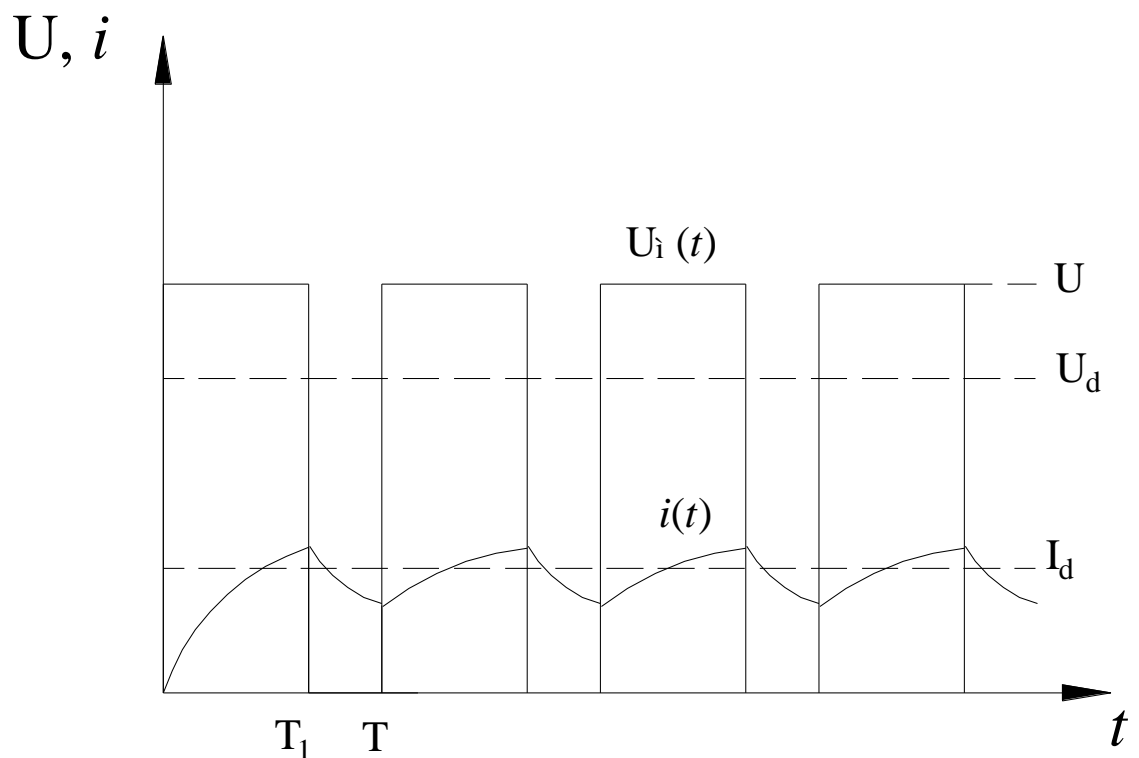


Рис.5.2. Діаграма зміни напруги та струму двигуна при імпульсному керуванні.

При відкритому тиристорі:

$$U = R_{ai} + L_a \frac{di}{dt} + U_i;$$

При закритому тиристорі:

$$0 = R_{ai} + L_a \frac{di}{dt} + U_i.$$

Під час паузи між імпульсами напруги частота обертання двигуна не повинна сильно змінюватись щоб U_i зберігала своє значення. Інтегрування приведених рівнянь здійснюється з врахуванням зміни струму у відповідні періоди часу.

Прикладену до обмотки якоря двигуна напругу $U_M(t)$ можна розкласти на дві складові: постійну U_d та змінну $U_{\sim}(t)$, тобто:

$$U_M = U_d + U_{\sim}(t);$$

де

$$U_d = U \frac{T_i}{T}.$$

Аналогічним чином можна уявити струм якоря. Для першої складової U_d напруги $U_M(t)$:

$$U_d = I_d R_a + U_i.$$

В рівнянні не враховано падіння напруги U_B на щітках, оскільки воно не оказує вплив на роботу двигуна в розглянутому режимі.

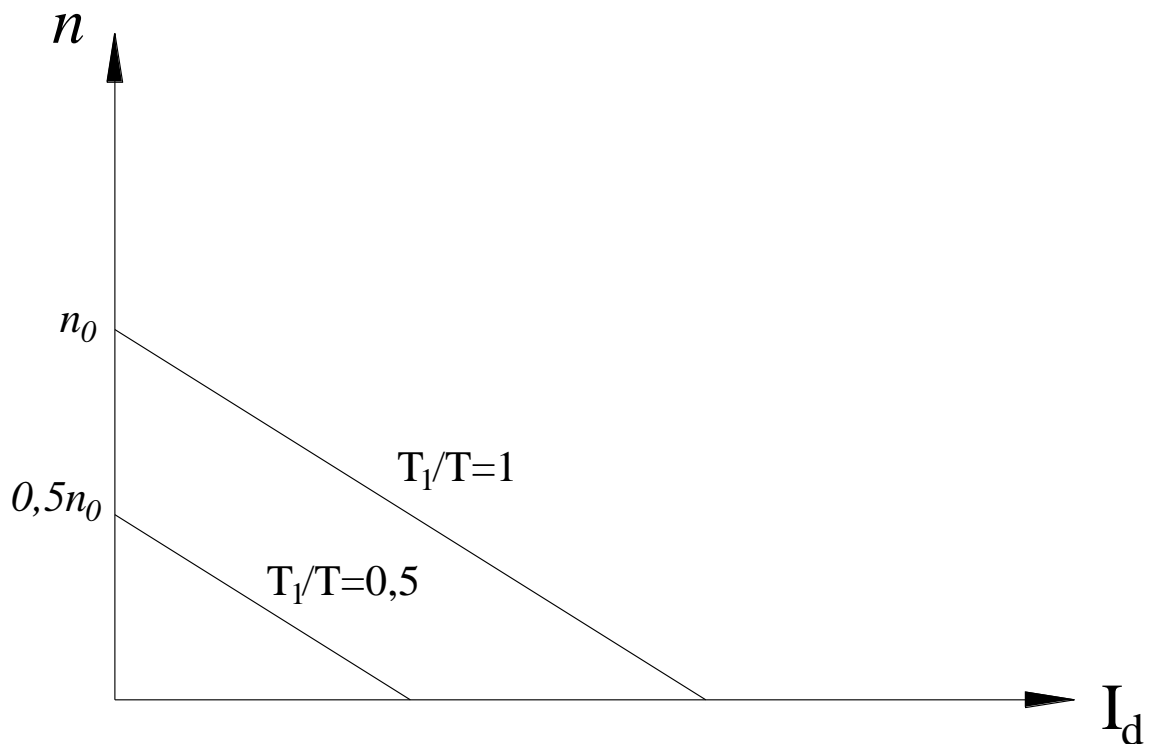


Рис.5.3. Регулювальні характеристики двигуна.

Для змінної складової

$$U_{\sim} = R_{ai\sim} + L_a \frac{di_{\sim}}{dt}$$

Потужність споживання, яка відбирається двигуном від акумуляторної батареї,

$$P_1 = \frac{1}{T} \int_0^T U_i(t) dt$$

складається з електромагнітної чи внутрішньої потужності

$$P_i = U_i \cdot I_d, \text{ та потужності теплових втрат в міді обмотки якоря } P_{cu} = I_{ef} \cdot R_a.$$

Рівняння навантажувальної характеристики $n(I_d)$ можна отримати за допомогою рівняння:

$$n = n_0 - \frac{R_a}{z_a \cdot \frac{p}{a} \cdot \Phi_p} \cdot I_d \text{ при } n_0 = \frac{U_d}{z_a \cdot \frac{p}{a} \cdot \Phi_p}$$

з врахуванням (5.2.):

$$n_0 = \frac{U \frac{T_i}{T}}{z_a \cdot \frac{p}{a} \cdot \Phi_p}$$

На рис.5.3. приведені характеристики $n = f(I_d)$ двигуна для двох значень скважності $\frac{T_i}{T} = 0,5$ та $1,0$, яким відповідають частоти обертання ідеального холостого ходу $0,5n_0$ та n_0 . Крутизна характеристики $n = f(I_d)$ не залежить від скважності, Завдяки можливості плавного регулювання напруги на обмотці якоря можна забезпечити роботу двигуна з постійним значенням моменту у всьому діапазоні зміни частоти обертання.

5.1.2. Створення моделі в середовищі Matlab Simulink для регулювання швидкості напругою живлення.

В даному розділі пропонується розроблена Simulink-модель системи керування швидкістю. Система включає в себе силову частину у вигляді двигуна постійного

струму з постійними магнітами, який отримує живлення від ТП, та керуючу частину у вигляді регулятора швидкості (РШ) і вимірювально-перетворюючий пристрій, який являє собою датчик швидкості. В аналоговій системі в якості датчика швидкості використовується тахогенератор постійного чи змінного струму.

Модель будується за принципом описаним в книзі А.В.Башаріна «Керування Електроприводами». Двигун з постійними магнітами являє собою один з найпоширеніших типів двигунів постійного струму. При розгляді його математичного опису будемо вважати, що розмагнічуюча дія реакції якоря скомпенсована, а індуктивність якорного кола постійна. Магніторушійна сила цих струмів перешкоджає зміні потоку полюсів, сповільнюючи процес його наростання і спадання. З цієї точки зору дія вихрових струмів може приближено розглядатись як дія розташованої на полюсах машини додаткової короткозамкнутої обмотки.

Для кола збудження можна записати:

$$\left. \begin{aligned} u_B &= i_B R_{o.B.} + 2p\varepsilon\omega_{o.g.}p\Phi; \\ 0 &= i_{B.T.} R_{o.B.T.} + 2p\varepsilon\omega_{o.B.g.}p\Phi; \\ F &= i_B \omega_{o.B.} + i_{B.T.} \omega_{o.B.g.}; \\ \Phi &= f(F). \end{aligned} \right) (1)$$

Де:

p число пар полюсів;

ε коефіцієнт зв'язаний з коефіцієнтом розсіювання виразом $\varepsilon = 1 + (0.5 \div 0.7) \cdot (\sigma - 1)$, і враховуючий ту обставину, що частина потоку розсіювання зщеплена не з усіма витками обмотки збудження;

F намагнічуюча сила;

Φ корисний магнітний потік одного полюса.

Перейшовши до в.о., за базове значення потоку збудження можна прийняти номінальний потік $\Phi_\sigma = \Phi_H$ та по характеристиці намагнічування визначити базове значення намагнічуючої сили $F_\sigma = F_H$. Базові точки збудження та напруга збудження

будуть: $I_{в.σ} = \frac{F_σ}{ω_{0.в.}}$, $U_{в.σ} = I_{в.σ} \cdot R_{0.в.}$. Маючи на увазі, що значення $I_{в.т.σ}$ буде обране пізніше, поділимо перше рівняння системи на $U_{в.σ}$, друге на $I_{в.т.σ} \cdot R_{0.в.}$, третє на $F_σ = I_{в.σ} \cdot ω_{0.в.}$. Четверте рівняння буде рівнянням характеристики в абсолютних одиницях після поділу значень, відкладених на осях абсцисс і ординат, відповідно на $F_σ$ та $Φ_σ$. Вводячи позначення відносних величин $\bar{u}_в = \frac{u_в}{U_{я.σ}}$, $\bar{i}_в = \frac{i_в}{I_{я.σ}}$, $\bar{Φ} = \frac{Φ}{Φ_σ}$, $i_{н.т.} = \frac{i_{в.т.}}{I_{в.т.σ}}$, $\bar{F} = \frac{F}{F_σ}$, та обираючи базове значення $I_{в.т.σ} = \frac{I_{в.σ} \cdot ω_{0.в.}}{ω_{0.в.т.}}$, можна записати рівняння для кола збудження у в.о.:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_в &= \bar{i}_в + T_{в.σ} \cdot p \bar{Φ}; \\ 0 &= \bar{i}_{в.т.} + T_{в.т.σ} \cdot p \bar{Φ}; \\ \bar{F} &= \bar{i}_в + \bar{i}_{в.т.}; \\ \bar{Φ} &= f(\bar{F}). \end{aligned} \right) (2)$$

Коефіцієнти при $p\bar{Φ}$, маючи розмірність часу і залежать від обраних $Φ_σ$, $I_{в.т.σ}$, та представляють собою базові постійні часу збудження та вихрових струмів.

$$T_{в.σ} = 2p\varepsilon \frac{ω_{0.в.}}{R_{0.в.}} \cdot \frac{Φ_σ}{I_{в.σ}}; (3)$$

$$T_{в.т.σ} = 2p\varepsilon \frac{ω_{0.в.т.}}{R_{0.в.т.}} \cdot \frac{Φ_σ}{I_{в.т.σ}}; (4)$$

Якщо праву частину виразу (3) помножити та поділити на $ω_в$, та врахувати, що $I_{в.σ} \cdot ω_{0.в.} = F_σ$, то

$$T_{в.σ} = 2p\varepsilon \frac{ω_{0.в.}^2}{R_{0.в.}} \cdot \frac{Φ_σ}{I_{в.σ}}$$

Відповідно, $T_{в.σ}$ численно рівна постійній часу збудження двигуна, в якого при інших рівних умовах характеристика намагнічування являє собою пряму лінію яка проходить через початок координат та точку з координатами $Φ_σ$ та $F_σ$.

Для якорного кола без врахування падіння напруги під щітками можна записати:

$$u_я = c_d \Phi \omega + R_{я.ц.д.} i_я + L_{я.ц.д.} p i_я,$$

де:

$u_{я}$ напруга на двигуні;

ω кутова швидкість обертання валу двигуна;

$i_{я}$ струм якоря;

$c_d = \frac{pN}{2\pi a}$ конструктивний коефіцієнт двигуна виражений через число пар полюсів, число стержнів обмотки якоря, N і число пар паралельних гілок в ній a .

При аналізі систем, в яких живлення двигуна відбувається від окремого тиристорного перетворювача, зручно замість напруги $u_{я}$ вхідним впливом вважати ЕРС тиристорного перетворювача $e_{т.п.}$. Тоді рівняння для якорного кола записується у вигляді:

$$e_{т.п.} = c_d \Phi \omega + R_{я.ц.} (T_{я.ц.} p + 1) i_{я},$$

Де:

$R_{я.ц.} = R_{я.ц.д.} + R_{т.п.}$; $T_{я.ц.} = \frac{(L_{я.ц.д.} + L_{т.п.})}{R_{я.ц.}}$; $R_{т.п.}$ та $L_{т.п.}$ опір та індуктивність перетворювача.

Рівняння моментів запишеться так:

$$M_d - M_c = J p \omega,$$

Де:

M_d електромагнітний момент двигуна; M_c момент опору (навантаження); J момент інерції, в склад якого при жорсткому зв'язку двигуна з механізмом входять моменти інерції двигуна і виконавчого механізму.

Враховуючи що:

$$M_d = c_d \Phi i_{я};$$

Та обираючи базові значення швидкості ω_6 , ЕРС $E_6 = c_d \Phi_6 \omega_6$, струму якоря $I_{я.б.}$, моменту $M_6 = c_d \Phi_6 I_{я.б.}$ та провівши перетворення аналогічні описаним вище, можна отримати у в.о.

$$\left. \begin{aligned} \overline{e_{т.п.}} &= \overline{\Phi} \overline{\omega} + \rho_{я.ц.} (T_{я.ц.} p + 1) \overline{i_{я.}}; \\ \overline{\Phi} \overline{i_{я.}} - \overline{M_c} &= T_M p \overline{\omega}. \end{aligned} \right)$$

Де: $\overline{e_{т.п.}} = \frac{e_{т.п.}}{E_6}$; $\rho_{я.ц.} = \frac{I_{я.б.} R_{я.ц.}}{E_6}$ відносний опір якорного кола; $T_{я.ц.} = \frac{L_{я.ц.}}{R_{я.ц.}}$ постійна часу якорного кола; $T_M = \frac{J \omega_6}{M_6}$ механічна постійна часу.

Для побудови структурної схеми двигуна зручно в третє рівняння системи (2) підставити значення $\overline{i_{в.т.}}$ та переписати систему у вигляді.

$$\left. \begin{aligned} \overline{\Phi} &= \frac{1}{T_{в.с.} p} (\overline{u_{в.}} - \overline{i_{в.}}); \\ \overline{i_{в.}} &= F + T_{в.т.с.} p \overline{\Phi}; \\ F &= f^{-1}(\overline{\Phi}); \\ \overline{i_{в.}} &= \frac{1}{\rho_{я.ц.} (T_{я.ц.} p + 1)} (\overline{e_{т.п.}} - \overline{e_{д.}}); \\ \overline{\omega} &= \frac{1}{T_M p} (\overline{\Phi} \overline{i_{я.}} - \overline{M_c}). \end{aligned} \right)$$

Після чого будується модель в середовищі Matlab Simulink, яка має вигляд
Рис.5.4.

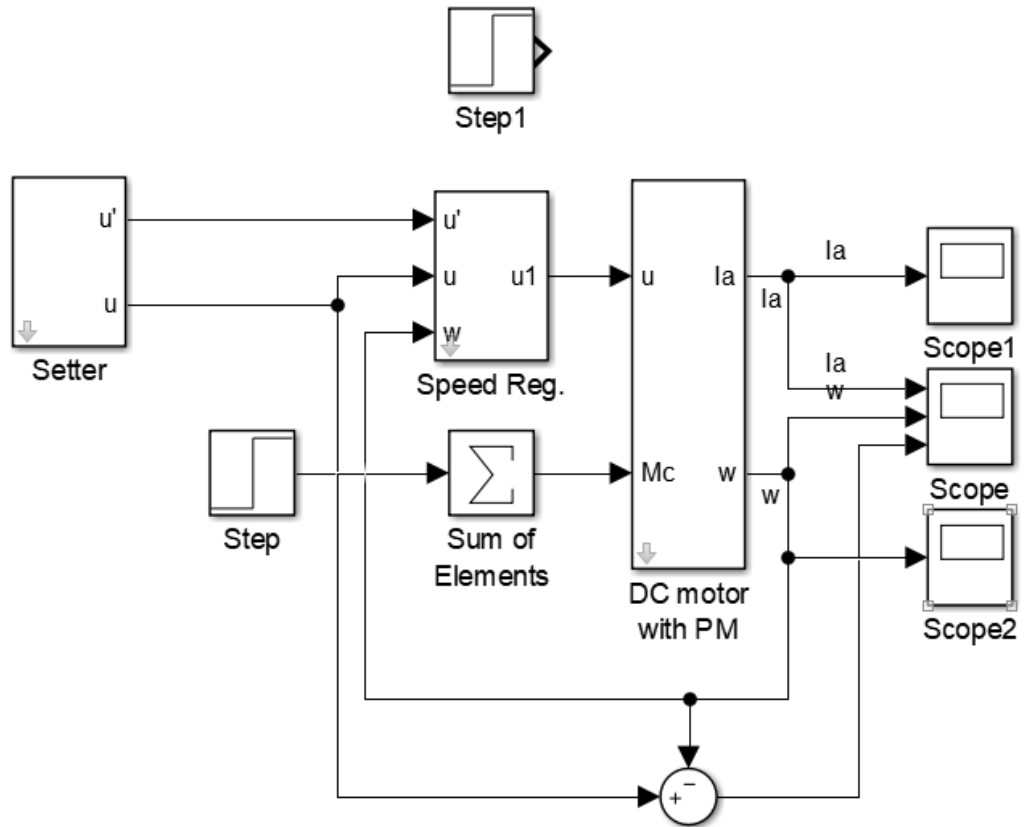


Рис. 5.4. Модель системи керування швидкістю двигуна постійного струму з постійними магнітами.

Дана модель системи керування двигуном постійного струму з постійними магнітами містить в собі:

Setter – задатчик завдання;

Speed Reg. Регулятор швидкості;

DC motor with PM – модель підсистеми двигуна;

Блоки Scope – блоки для спостереження (вимірювання) значень кутової швидкості ротора (w), струму якірного ланцюга (I_a).

Модель підсистеми двигуна:

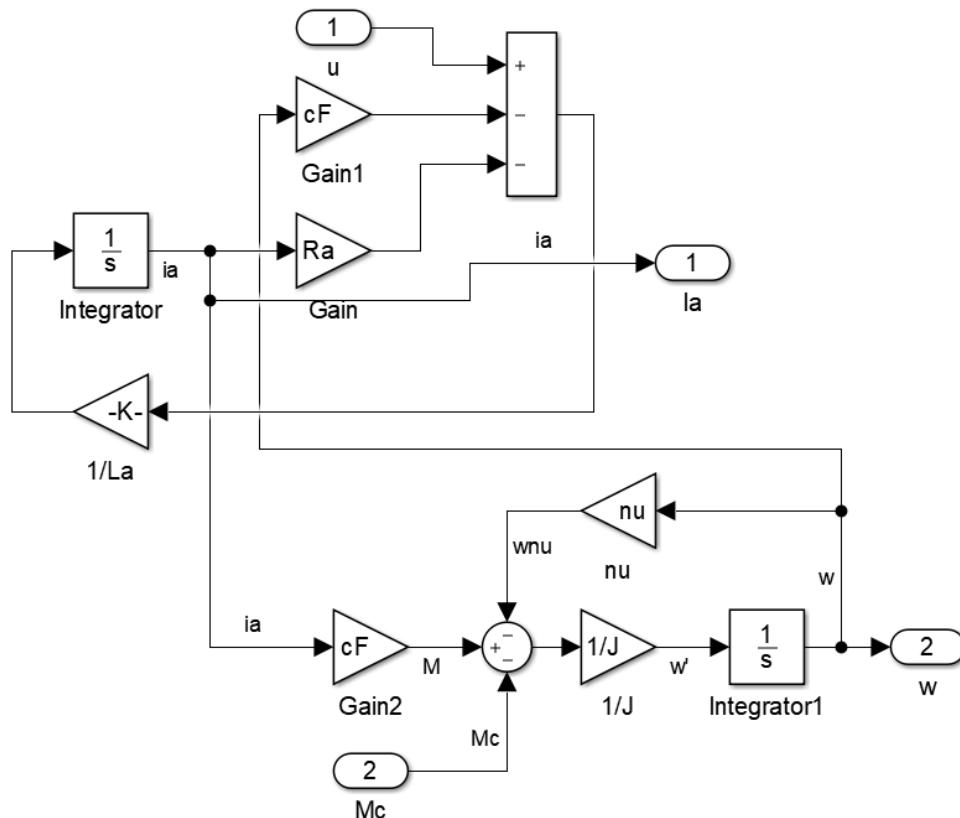


Рис. 5.5. Модель підсистеми двигуна постійного струму з постійними магнітами.

Під час моделювання процесу пуску двигуна були зняті порівняльні графіки швидкості обертання ротора та струму якорного ланцюга при $U=U_H=12\text{В}$, та $U=0.7U_H$

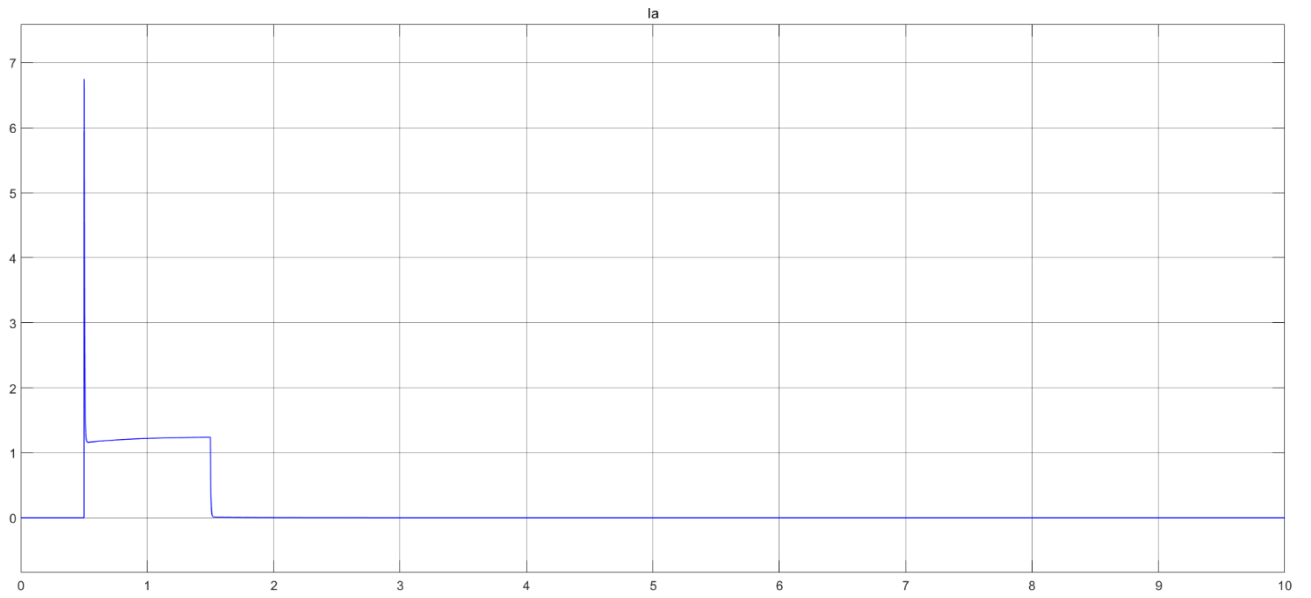


Рис.5.6. Значення струму якiрного ланцюга при $U=12$ В.

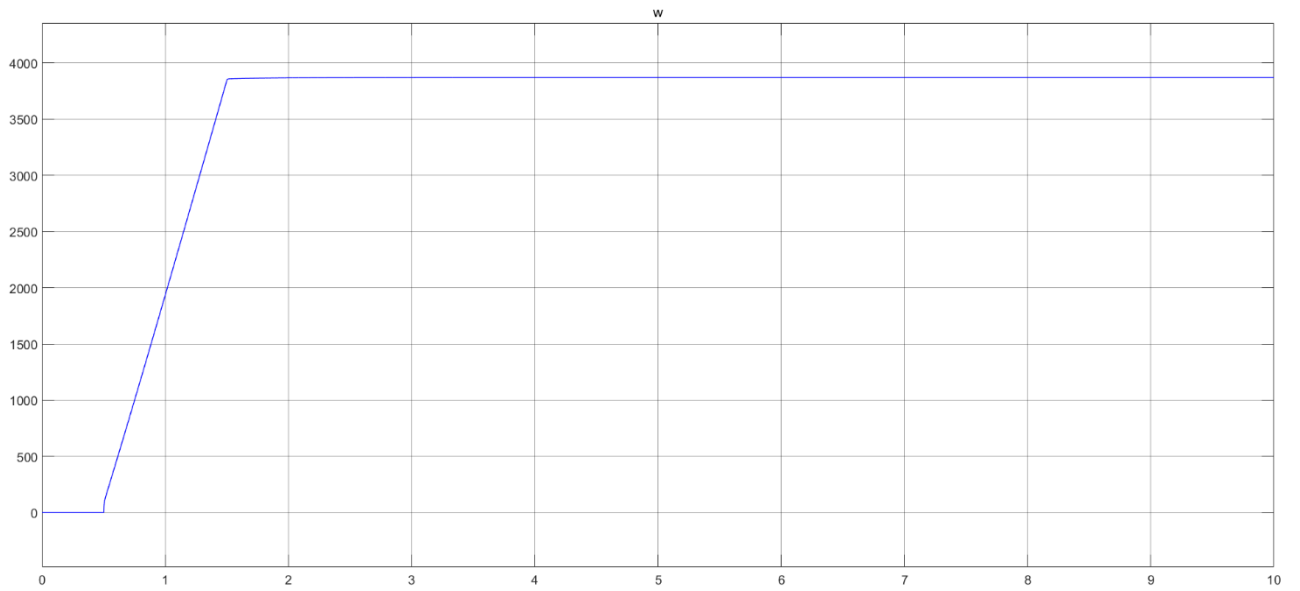


Рис.5.7. Значення швидкостi обертання ротора при $U=12$ В.

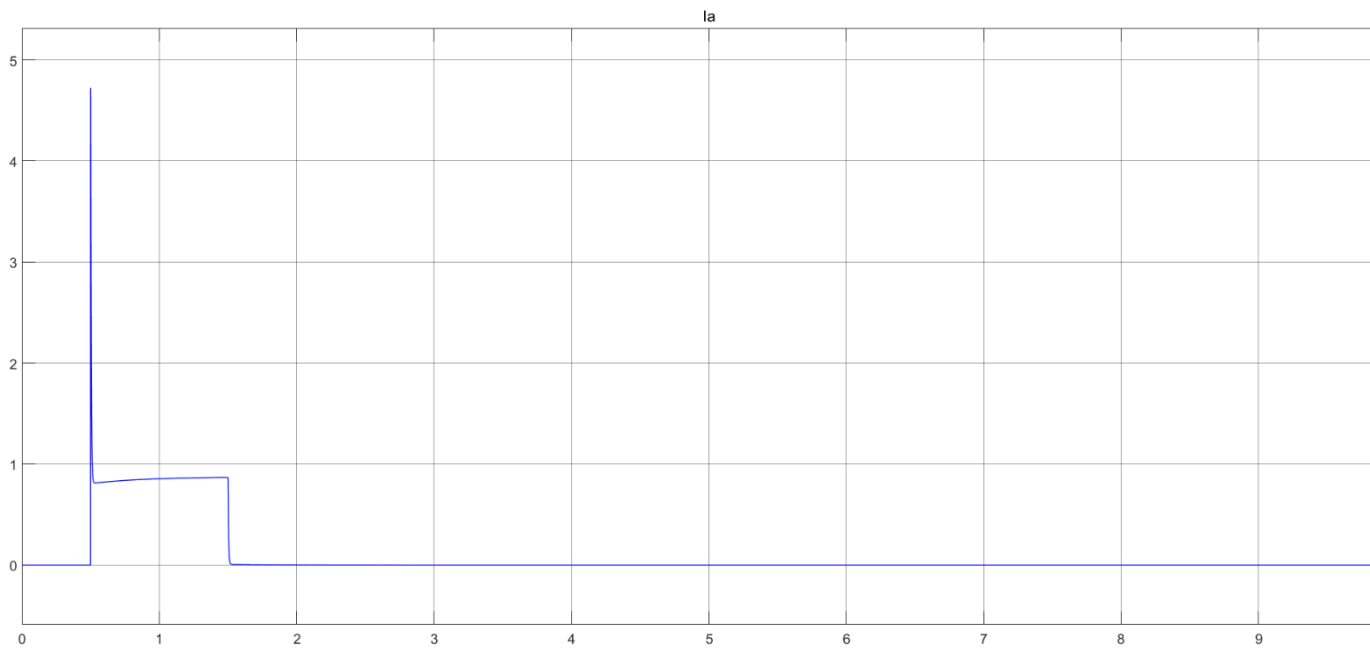


Рис.5.8. Значення струму якірного ланцюга при $U=0.7U_H$.

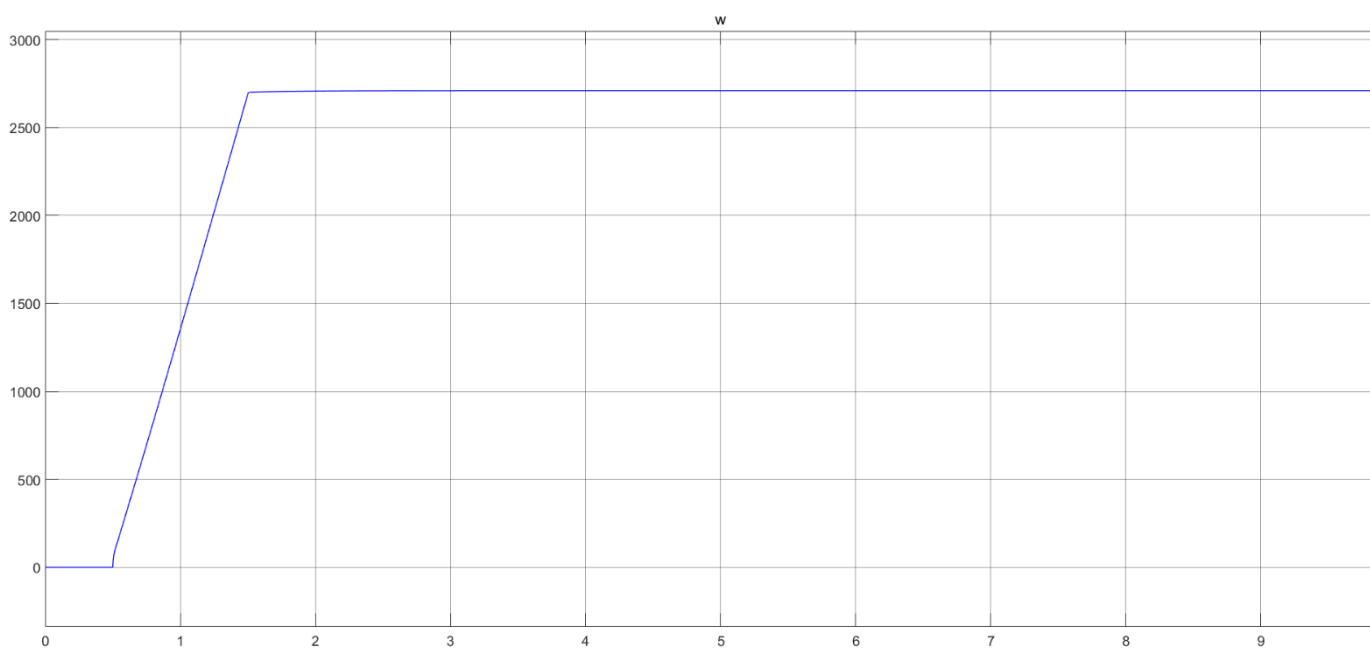


Рис.5.9. Значення швидкості обертання ротора при $U=0.7U_H$.

5.2. Регулювання частоти обертання зміною положення щіток.

Одною з можливостей, яка забезпечує роботу двигуна постійного струму з двома частотами обертання, являється використання щіток з можливістю регулювання положення відносно якоря.

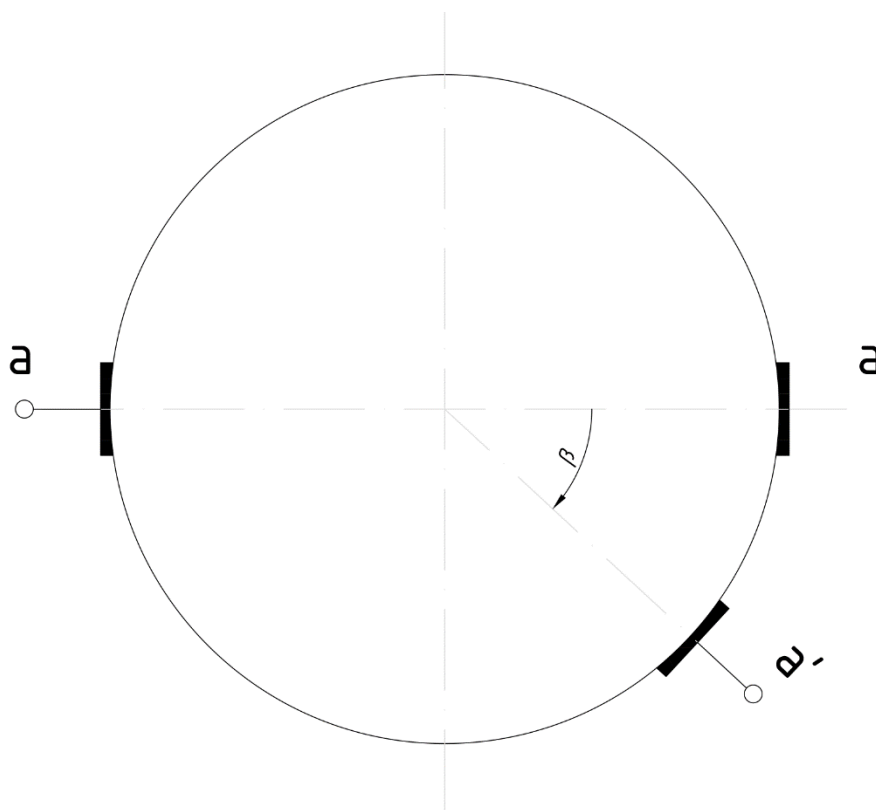


Рис.5.10. Розташування третьої регульовальної щітки в колекторі двигуна постійного струму.

Напругу живлення можна подавати на щітки, розташовані на геометричній нейтралі (а-а), або на одну із цих щіток та додаткову щітку а' (рис.5.4.), розташовану під кутом β , відносно другої щітки. Якщо уявити, що індукція магнітного поля розподілена в робочому повітряному проміжку по синусоїдальному законі, то ЕРС якоря $U_i = \hat{U}_i \sin \alpha$, де α кут повороту ротора. При розташуванні щіток на геометричній нейтралі (а-а) комутація обмотки якоря відбувається в момент

проходження напруги через нульове значення ($\alpha = 0$ та $\alpha = \pi$), як показано на рис.5.5.

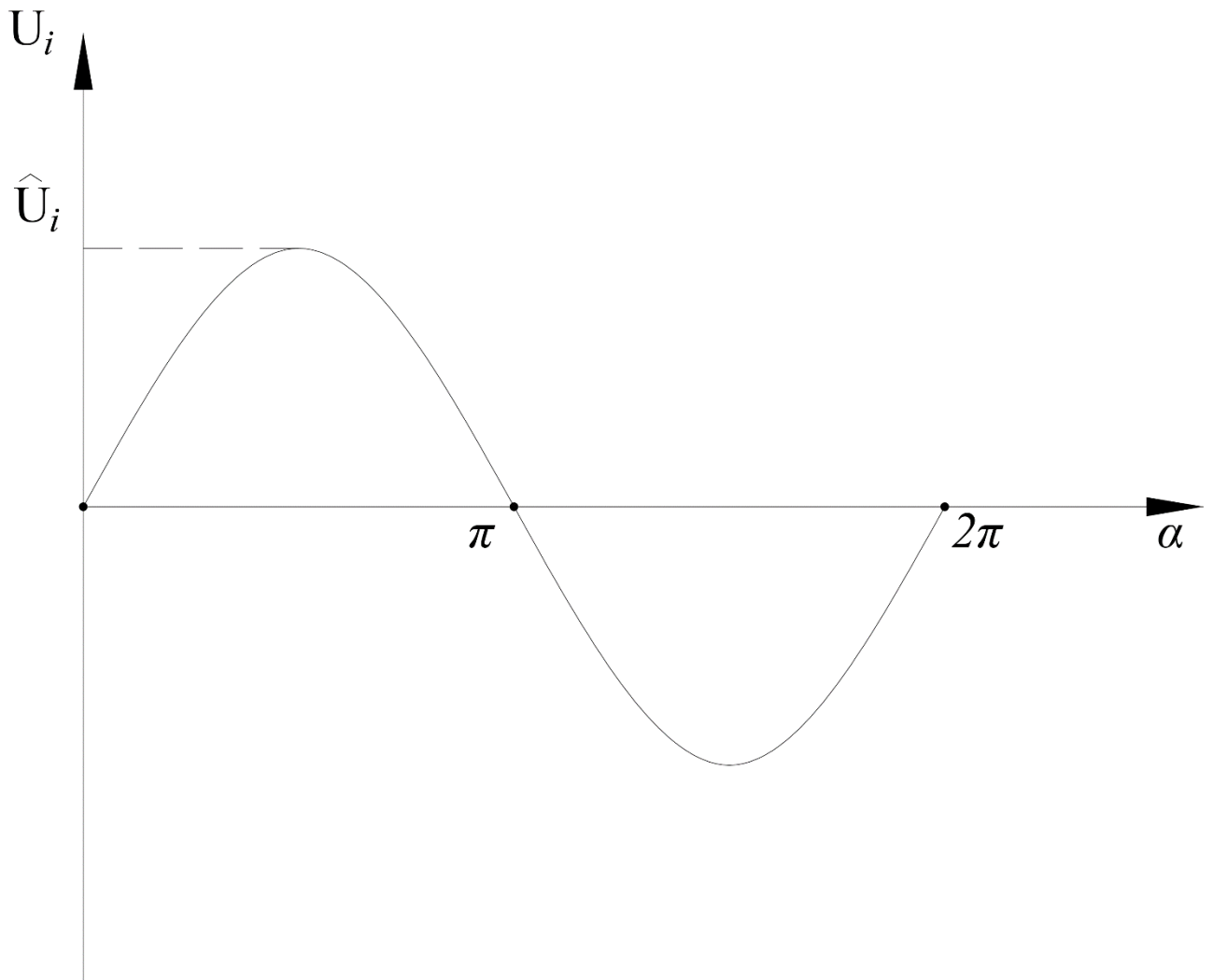


Рис.5.11. Зміна амплітудного значення ЕРС трансформації обмотки якоря в залежності від кутового положення регулювальної щітки.

Середнє значення напруги одного витка.

$$U_{iw} = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \hat{U}_1 \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{2 \cdot \hat{U}_1}{\pi}$$

При кількості витків в кожній паралельній вітці w_{zw}

$$U_{ziw} = w_{zw} \cdot \frac{2 \cdot \hat{U}_1}{\pi}$$

З другої сторони ЕРС в кожній вітці обмотки визначається за допомогою рівняння:

$$U_{ziw} = Z_a \cdot \frac{p}{a} \cdot n \cdot \Phi_p$$

Якщо дві щітки здвинути на кут α відносно осі геометричної нейтралі (а-а)', то характер зміни ЕРС $U_i(\alpha)$ збережеться, а середньоарифметичне значення вказаної ЕРС зміниться внаслідок зміни в часі моментів комутації ($\alpha = 0$ та $\alpha = \pi - \beta$), що представлено на рис.5.6. Одночасно зміниться приналежність комутуючих секцій обмотки якоря відповідної паралельної вітки. В цьому випадку середнє значення ЕРС

$$U_{iw} = \frac{\hat{U}}{\pi - \beta} \cdot \int_0^{\pi - \beta} \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{\hat{U}_1}{\pi - \beta} (1 + \cos \beta).$$

При кількості витків $\frac{(\pi - \beta)}{\pi}$, включених послідовно в кожній паралельній вітці обмотки якоря,

$$U_{izw} = w_{zw} \cdot \frac{\pi - \beta}{\pi} \cdot U_{iw} = w_{zw} \frac{\hat{U}_1}{\pi} (1 + \cos \beta).$$

З врахуванням рівняння (5.7.):

$$U_{izw}^* = U_{izw} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} = Z_a \cdot \frac{p}{a} \cdot n \cdot \Phi_p \frac{1 + \cos \beta}{2}.$$

Режим ідеального холостого ходу має місце при $I=0$, тобто тоді, коли $U_{izw} = U$. Якщо наруга живлення подається на діаметрально розташовані щітки, то:

$$U_{izw} = Z_a \cdot \frac{p}{a} \cdot n \cdot \Phi_p = U$$

$$n_0 = \frac{U}{Z_a \cdot \frac{p}{a} \cdot \Phi_p}$$

Якщо напругу живлення подано на одну з вказаних щіток та на драгу щітку, зміщену відносно другої діаметральної щітки на кут β , то:

$$U_{izw}^* = Z_a \cdot \frac{p}{a} \cdot n \cdot \Phi_p \frac{1 + \cos\beta}{2} = U;$$

та частота обертання холостого ходу:

$$n_0^* = \frac{U}{Z_a \cdot \frac{p}{a} \cdot \Phi_p} \cdot \frac{2}{1 + \cos\beta}.$$

Співвідношення частот обертання двигунів у вищезгаданих випадках має вигляд:

$$\frac{n_0^*}{n} = \frac{2}{1 + \cos\beta}.$$

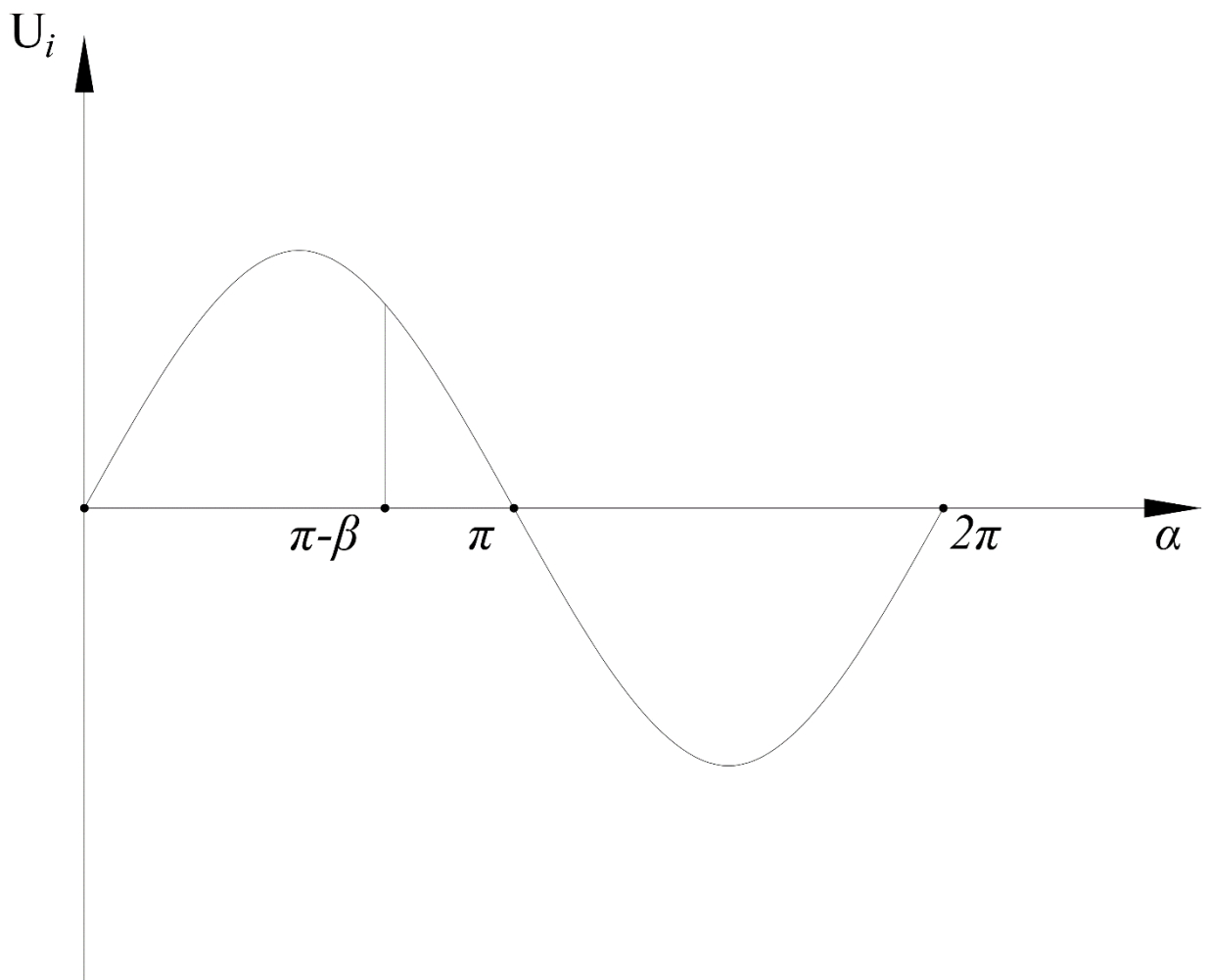


Рис.5.12. Момент комутації при зміщеному положенні регулювальної щітки.

5.3. Вибір способу регулювання.

Необхідність двоступеневого регулювання частоти обертання, для двигуна моторедуктора можна пояснити так: при русі в дуже поганих умовах (ливні, снігопади) виникає необхідність більш швидкого очищення скла, що є важливою умовою для безпеки водія та пасажирів. Тому частота покачування щітки повинна бути збільшена.

Другий спосіб регулювання більш простий та закладається в конструкції щіткового вузла. Звісно, потрібна додаткова третя щітка, що призводить до збільшення тертя на колекторі. Але, напруга яка підводиться є постійною, а не імпульсною.

Перший з розглянутих вище способів регулювання потребує наявності тиристора, діоду в схемі живлення, а також схеми керування тиристором. При цьому напруга та струм двигуна мають постійну та змінну складові. Але авдяки можливості плавного регулювання напруги на обмотці якоря можна забезпечити роботу двигуна з постійним значенням моменту у всьому діапазоні зміни частоти обертання. Саме такий спосіб регулювання приймається в моторедукторах склоочисників.

6. СТАРТАП ПРОЕКТ

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів.

В магістерській дисертації представлений сервісний автомобільний двигун постійного струму, який був виконаний на нове технічне завдання і має ряд переваг над двигуном прототипом. Переваги і недоліки представлені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Зпроектований двигун	Прототип
1	Споживаний струм	А	1,67	1,6
		%	119	100
2	Маса двигуна	кг	2,2	2,8
		%	78,6	100
3	ККД	-	0,5	0,48
		%	87,4	100
4	Номінальна частота обертання	об/хв	3700	3682
		%	170,6	100
	Момент двигуна	кг*см	0,264	0,263
		%	128,77	100

Таблиця 6.2. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Покращення динамічних показників шляхом модернізації прототипу	Машинобудівна	Краща динаміка, більша швидкість обертання, менша маса
	Оборонна промисловість	
	Приладобудівна	

Таблиця 6.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технологія її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Покращення динамічних характеристик двигуна	Обладнання для серійного виробництва	Є в наявності	Доступні
2		Виконання вторинної системи нових більш технологічних видів	В стані концептуальної ідеї	Недоступні
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: 1.				

Таблиця 6.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	12
2	Загальних обсяг продаж, грн	2,2 млн грн
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ 3003:2006
6	Середня норма рентабельності в галузі (або на ринку), %	35%

Висновок: враховуючи кількість головних гравців по ринку, зростаючу динаміку ринку, невелику кількість конкурентів та середню норму рентабельності можна зробити висновок, що на даний момент, ринок для входження стартап-продукту є привабливим.

Таблиця 6.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенціальних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Покращення показників двигуна	Приватні користувачі, державні підприємства.	Звертають увагу на собівартість продукту та енергоефективність	Недорогий, з меншою масою і більшим моментом

Таблиця 6.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренти	Наявність конкурентів котрі надають схожі рішення	Зменшення ціни на поставлену послугу; Розробка унікальних характеристик товару; Надання ліцензій на обслуговування
2	Кошти на розробку та підтримку продукту	Закінчення грошей та недостатнє фінансування	Залучення додаткових інвесторів, мотивація роботи на перспективу; Ітеративна розробка продукту задля покрокового виведення продукту на ринок та отримання відповіді користувачів
3	Ситуація в країні	Бойові дії. Підняття цін на експорт та імпорт, податків, не актуальність даної в сфери в даний час	Розширення асортименту
4	Доходи населення	Не спроможність купувати послуги по даній ціні	Залежить від інших факторів
5	Поява нових технологій	Зменшення кількості клієнтів	Якщо є бюджет та сенс, то встановлення даних технологій на виробництві
6	Фінансова економічна криза	Не спроможність купувати послуги по даній ціні	Залежить від інших факторів
7	Стан і розвиток галузі й регіону	Перенасиченість регіону підприємствами даної сфери діяльності або навпаки	Залежить від інших факторів

Таблиця 6.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Новий продукт	Вихід на ринок, Зменшення монополії, Надання нових рішень у сфері	Розробка нової функціональності; Вихід нової продукції на ринок; Надання різноманітних типів ліцензій в залежності від потреб користувача \ замовника.
2	Вихід аналогу	Надати продукт з певними характеристиками та можливостями що відсутні у компаній конкурентів	Аналіз ринку та користувачів задля задоволення їх потреб та надання функціональності у найкоротші строки за ціну, котра є дешевшою ніж у продуктів-замінників.
3	Зворотній зв'язок від користувачів	Можливість отримання необхідної інформації для вдосконалення продукту	Наявність вхідних даних та реакція на них з боку команди розробників задля задоволення потреб та бажань кінцевих користувачів системи кешування даних.
4	Грошова винагорода за рекламу	При достатньому попиту на систему кешування даних можлива комерціалізація продукту на основі реклами задля отримання грошової винагороди для подальшого розвитку продукту та оплати заробітної плати працівникам	Точкова комерціалізація продукту; Введення реклами; Ведення додаткових коштів у проект задля його подальшого розвитку.
5	Поява нових технологій	Зменшення кількості конкурентів	Якщо є бюджет та сенс, то встановлення даних технологій на виробництві

Таблиця 6.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	Тип конкуренції: монополістична	Товар від кожної компанії на ринку, являється недосконалим замінником товару, реалізованого іншими фірмами; На ринку є умови для входу та виходу; Ціна корелює між суперниками;	Розробка продукту з характеристиками, які покривають сфери вживання що не покривають інші товари-замінники; Кореляція цін у відповідності до товарів замінників; Різні типи ліцензій.
2	Рівень конкурентної боротьби: світовий	Всі продукти замінники розроблялись інтернаціональними командами з різних куточків світу, продукти не належать до певної держави, а належать команді розробників	Вихід на ринок збуту продукту з клієнто-необхідною функціональністю; Налагодження маркетингу на основних Інтернет ресурсах задля охоплення великої кількості потенційних користувачів; Надання бета-версій продукту.
3	Галузева ознака: внутрішньогалузева	Даний тип продукту може використовуватися тільки у сфері розробки ІТ додатків \ продуктів	Надання зручного, інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу; Підтримка всім відомих методів взаємодії з середовищем розробки; Наявність документації та онлайн підтримки.
4	Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Дана конкуренція – конкуренція між товарами одного виду.	Впровадження функціональності яка відсутня у товарів-замінників; Спрощення інтерфейсів; Надання підтримки.
5	Характер конкурентних переваг: цінова та не цінова	Цінові переваги – точкова комерціалізація; Не цінова – надання функціональності, що відсутня у товарах-замінниках.	Надання платних ліцензій лише на критично важливу функціональність для клієнта з певним строком підтримки, що зазначена у відповідній ліцензії; Впровадження унікальної функціональності.
6	За інтенсивністю: марочна	Наявність унікального знаку що відрізняє даний продукт від продуктів-замінників	Впровадження власної назви та власного знаку.

Таблиця 6.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенцій і конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Фарватер, Ventilator	Бар'єри входу на ринок є порівняно незначними. Обов'язково є сертифікація продукції	Існує чітка залежність від постачальників ціна кінцевої продукції залежить від ціни витратних матеріалів	Споживачі мають широку географію і проживають переважно у віддалених поселеннях. Попит залежить від купівельної спроможності населення.	Посилилася конкуренція зі імпортних товарів
Висновки :	Висока	Є можливість входу на ринок	Залежить від багатьох факторів	Запит клієнтів потребує індивідуального підходу в підборі товару.	Є, так як є досить багато видів електродвигунів в нових поколіннях.

Проаналізувавши можливості роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію можна зробити висновок: оскільки кожний з існуючих продуктів не впливає у великій мірі на поточну ситуацію на ринку в цілому, кожний з існуючих продуктів має свою специфічну сферу використання та свої позитивні та негативні сторони щодо рішення певних типів задач, то робота та вихід на даний ринок є можливою і реалізованою задачею [23].

Для виходу на ринок продукт повинен мати функціонал що відсутній у продуктів-аналогів, повинен задовольняти потреби користувачів, мати необхідний та достатній функціонал з конфігурування, підтримку зі сторони розробників та можливість розробки спеціального функціоналу за відповідною ліцензією.

Таблиця 6.10. Обґрунтування факторів конкурентноспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ефективність системи управління	Скорочення всіх видів витрат на виробництві, впровадження нововведень у системі розподілу та збуту
2	Організація виробництва	
3	Фінансове забезпечення	
4	Інноваційні технології	Використання науково-технічних здобутків задля поліпшення якості продукту.
6	Організація маркетингової діяльності	Постійний пошук клієнтів, надання додаткових послуг (розробка дизайну)
7	Організація підбору, розстановки та підвищення кваліфікації кадрів	Підвищення якісних і споживчих характеристик на продукцію (послуги)
8	Витрати на виробництво продукції та продуктивність праці	

Таблиця 6.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Реверс»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з індукційним електродомом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Частка ринку	15			+				
2	Ціна	18			+				
3	Асортимент	10					+		
4	Доступ до каналів розподілу	12						+	
5	Торговий маркетинг	14					+		
6	Репутація виробника	20					+		
7	Унікальність позиціонування	16		+					
8	Маркетинговий бюджет	7							+

Таблиця 6.12. SWOT – аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Унікальне позиціонування	Мала кількість заводів для виробництва
Менша ціна порівняно з конкурентами	Залежність від постачальників сировини
Невелика кількість конкурентів на ринку	
Можливості:	Загрози:
Можливість збільшення обсягів виробництва	Загроза підвищення цін внаслідок підвищення сировини
Нарощування клієнтської бази	Загроза втрати клієнтів за рахунок появи нових конкурентів
Оптимізація характеристик двигуна	Загроза працювати без прибутку – скорочення платоспроможного попиту

Таблиця 6.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Безкоштовне надання певного функціоналу у користування споживачам на обмежений термін	Головний ресурс – люди, даний ресурс - наявний	2-3 місяці
2	Реклама	Залучення власних коштів для реклами товару	1-2 місяці
3	Написання статей та опис товару на відомих ресурсах	Головний ресурс – час, даний ресурс - наявний	2-3 тижні
4	Презентація товару на конференціях й інших заходах	Ресурс – час та гроші для участі, наявні	1-3 місяці

Таблиця 6.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приватні користувачі, машинобудівні компанії, робототехніка	Висока	Великий	Незначна	Помірна
Які цільові групи обрано: 1					

Таблиця 6.15. Визначення базової стратегії розвитку

№п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Оптимізація використання ресурсів, підтримка клієнтів	Проведення реклами, освітлення покращених характеристики к через інтернет ресурси та інші канали, контакт напряму з споживачами; формування лояльності і прихильності споживачів	Зниження ступеню замінності товару; Прихильність клієнтів; Відмітні властивості товару; Відмітні характеристики товару;	Стратегія диференціації

Таблиця 6.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на рику?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	так	Частково	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 6.17. Визначення стратегії позиціювання

	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
	Відповідність нормам і стандартам	Стратегія диференціації	Оптимальність технічних характеристик	Інноваційність
	Продуктивність та ефективність			Надійність
	Підтримка та супроводження			Ефективність

Відповідно до проведеного аналізу можна зробити висновок, що стартап-компанія вибирає як базову стратегію розвитку – стратегію диференціації, як базову стратегію конкурентної поведінки – стратегію заняття конкурентної ніші.

Таблиця 6.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючи або такі, що потрібно створити)
1	Цінова політика	Прийнятне співвідношення ціна/якість.	Низькі ціни
2	Інноваційні технології	Використання науково-технічних здобутків задля поліпшення якості продукту.	Використання науково-технічних здобутків задля поліпшення якості продукту.
3	Доступ до постачальників	Використання науково-технічних здобутків задля поліпшення якості продукту.	Використання науково-технічних здобутків задля поліпшення якості продукту.

Таблиця 6.19. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Дослідження основних форм і методів збуту спрямоване на пошук перспективних засобів просування товарів від виробника до кінцевого споживача і організацію роздрібної торгівлі на основі все стороннього аналізу і оцінки ефективності використовуваних каналів і способів розподілу і збуту	Збутова мережа продовжує процес виробництва, беручи на себе функцію доробки товарів, сортування, розфасовку і упакування	Для визначення глибини каналу збуту використовуються наступні фактори: інвестиції; співвідношення доходів і витрат; можливість контролю; умови співробітництва; умови конкуренції.	Ефективною вважається така система підібраних каналів збуту і методів, яка доводить товар до місця реалізації за дуже короткий термін, затрати на організацію мінімальні, обсяги продажу та прибутки максимально високі. Головною метою відбору методів і каналів збуту є скорочення сумарної величини збутових витрат, яке залежить від рівня комерційної роботи і служби збуту

Таблиця 6.20. Концепція маркетингових комунікацій

п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Найраціональніша політика задоволення своїх бізнес потреб	Інтернет; прямі контакти; телефонія; друковані видання.	Цінова політика; інноваційні технології.	Донести концепцію переваг товару до потенційних споживачів.	Обґрунтувати наявність необхідності більш конструктивних об'єктів в даній сфері.

Висновок до розділу 6

У даному розділі розглянуто основні етапи розробки повноцінної концепції стартап-проекту. Враховуючи значний попит на товари подібної категорії на ринку, високу рентабельність, а також позитивну динаміку росту глобального ринку (на відміну від національного), визначена істотна можливість реалізації ідеї з подальшою комерціалізацією. З огляду на потенційні групи клієнтів, відсутність значних бар'єрів входження на ринок, диверсифіковану конкуренцію та наявність якісно відмінних характеристик продукту, можна стверджувати про перспективність даної розробки. За потреби існує кілька альтернативних сценаріїв розвитку стартапу, з урахуванням потреб цільової аудиторії. Подальшу імплементацію проекту можна вважати доцільною.

ВИСНОВОК

В дипломному проекті був проведений розрахунок сервісного автомобільного двигуна постійного струму із збудженням від постійних магнітів, призначений для приводу моторедуктора склоочисника легкового автомобіля. Ціллю розрахунку являлось перевірка відповідності параметрів двигуна, який виготовляється на підприємстві «СТАРВОЛЬТ». В якості вихідних даних використовувались наступні дані реального двигуна визначені експериментально:

Корисна потужність на валу	10 Вт;
Напруга на зажимах машини	12 В;
Швидкість обертання	3700 об/хв;
Спосіб збудження	постійні магніти;
Режим роботи	тривалий;
Діаметр ротора D_a	34,6 мм.;
Довжина пакету ротора l_0	25 мм.;
Частота обертання ротора двигуна	3700 об/хв;

Порівняння параметрів приведено в табл.8.

Табл.8.

Параметри	Прототип	Зпроектований
Корисна потужність на валу, Вт.	10	9,93
Напруга живлення, В.	12	12
Частота обертання валу, об/хв.	3700	3682
Момент на валу, кг·см.	0,264	0,263
ККД, %.	48	50

Відхилення параметрів зпроектованого двигуна від прототипу в % приведено в табл.9.

Табл.9.

Параметри	Відхилення в %
Корисна потужність на валу, Вт.	-0,7
Напруга живлення, В.	0
Частота обертання валу, об/хв.	-0,5
Момент на валу, кг·см.	-0,4
ККД, %.	4,2

Розглянувши дані в табл.9., можна зробити висновок, що параметри зпроектованого двигуна практично не відрізняються від параметрів прототипу. Відповідно моторедуктор який зараз виготовляється, відповідає всім критеріям, які використовуються при розрахунку електродвигунів постійного струму. Дані розрахунки можуть використовуватись на підприємстві в якості документації на моторедуктор заднього склоочисника.

Слід зазначити, що середнє перевищення температури обмотки якоря над оточуючим середовищем 42.2 °С, що нижче чим допустиме 65 °С. Тому існує можливість підвищення щільності струму в обмотці якоря.

В спецпитанні були розглянута способи регулювання швидкістю двигуна моторедуктора, а також побудована модель в середовищі Matlab Simulink для методу керування швидкістю зміною напруги живлення двигуна. На основі цього були зроблені висновки про спосіб регулювання швидкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ермолин Н.П. Электрические машины малой мощности. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М: Высшая школа, 1967. – 504с. ил.
2. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами (1982) Учебное пособие для вузов. — Л.: Энергоиздат, 1982. — 392 с.: ил.
3. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф., Ларионов А.Н. Электрические машины с постоянными магнитами М.-Л. Издательство "Энергия", 1964, - 480 с.
4. Акимов С.В., Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей Учебное пособие для ВУЗов. - М.: ЗАО "КЖИ "За рулем", 2004. - 384 с.: ил.
5. Проектирование электрических машин: Учебное пособие для ВУЗов. Под редакцией И.П. Копылова – М.: Энергия, 1980.
6. Копылов И.П. Электрические машины : Учебник для ВУЗов. - М.: «Энергия», 1986.
7. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink М.: ДМК Пресс, СПб: Питер, 2008. 288 с.
8. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ«КПІ», 2016. – 28 с.
9. ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ У СКЛАДІ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛІВ Цивінський С.С., к.т.н., доцент, Шумський М.В., студент КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки.