

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Золотенко Іван Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові студента(ки)

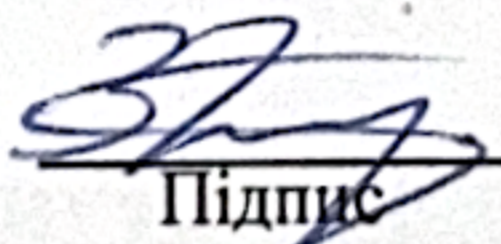
На здобуття другого (магістерського) ступеня вищої освіти

Розробка стенду для вимірювання крутного моменту
електродвигунів побутових пристроїв

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електропобутова техніка

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент(ка) 2 курсу
група ЕТМ-23-1
Шифр


Підпис

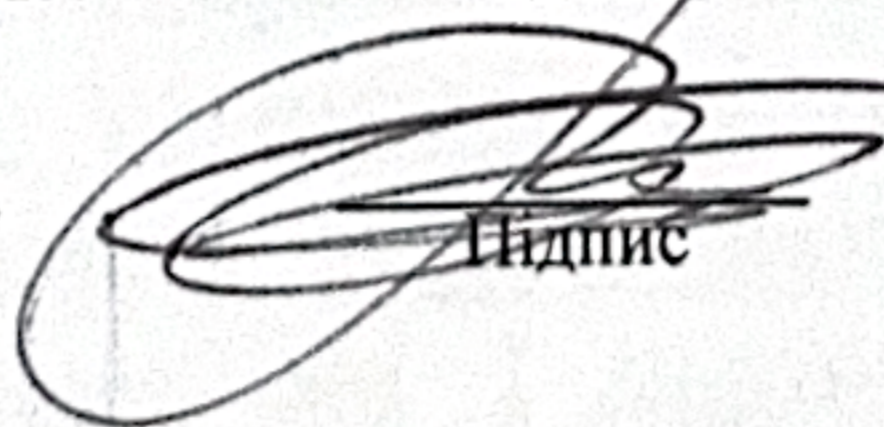
Іван ЗОЛОТЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доцент
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

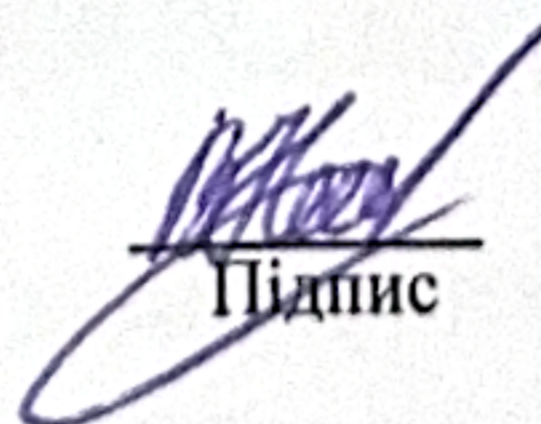
Юрій МИХАЙЛОВСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер _____
Посада


Підпис

Олександр ТИМОЩУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри МАЕЕС
Назва


Підпис

Віталій НЕЙМАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

17.12.2024
Дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Неймак В. С.

17 . 12 . 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Золотенко Іван Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенду для вимірювання крутного моменту електродвигунів побутових пристроїв

Керівник роботи Михайловський Юрій Броніславович, к. т. н., доцент

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

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

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи електродвигун пральної машини Samsung DC 31-00002, HXG1I, HXPG2L 220 В, частота обертання 50/60 Гц, потужність 350 Вт

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури відповідно до тематики магістерської роботи. 2 Розробка стенду для вимірювання крутного моменту електродвигунів побутових пристроїв. 3 Аналітичні дослідження процесу зняття показників крутного моменту. Висновки. Перелік джерел посилань.

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

1. Пристрої для вимірювання крутного моменту (ДО1, А1). 2. Пристрої для вимірювання крутного моменту (ДО2, А1). 3. Стенд для визначення крутного моменту електродвигунів (СК, А1). 4. Стенд для визначення крутного моменту електродвигунів побутових машин (ВЗ, А1). 5. Пристрій для вимірювання крутного моменту електродвигунів (СК, А1). 6. Блок живлення схема електрична принципова (ЕЗ, А2). Блок живлення друкована плата ЕЗ, А2). Розрахунок тензомоста (РР, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Огляд та аналіз технічної літератури відповідно до тематики магістерської роботи	до 1.11.24р.	
2 Розробка стенду для вимірювання крутного моменту електродигунів побутових пристроїв	до 14.11.24р.	
3 Аналітичні дослідження процесу зняття показників крутного моменту	до 26.11.24р.	
4 Оформлення графічного матеріалу та пояснювальної записки	до 16.12.24р.	

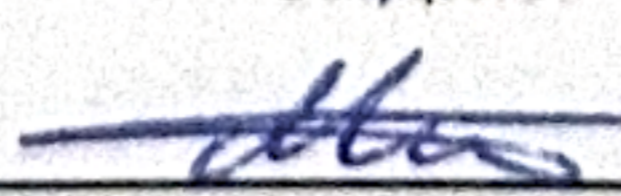
Студент(ка)


Підпис

Іван ЗОЛОТЕНКО

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник роботи


Підпис

Юрій МИХАЙЛОВСЬКИЙ

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 14 Механічна інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електропобутова техніка

АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Золотенко Іван Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

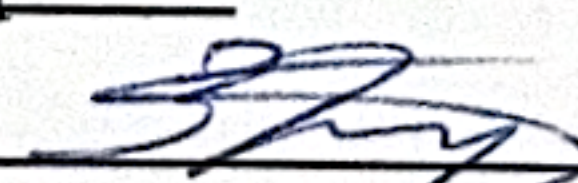
Тема роботи Розробка стенду для вимірювання крутного моменту електродвигунів побутових пристроїв

1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____

2. Обсяг магістерської роботи: креслень 7 арк, сторінок записки 69

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

З розвитком технологій сучасні побутові пристрої потребують високоефективні, малогабаритні та високофункціональні електродвигуни. Тому питання по підвищенню коефіцієнта корисної дії електродвигунів залишається актуальним. Важливим показником роботи, яку виконує електродвигун є крутний момент, який він передає. З метою підвищення показників електродвигунів розробляють стенди, які вимірюють значення крутного моменту валу. В магістерській роботі розробляється стенд для вимірювання крутного моменту електродвигунів побутових пристроїв. В розрахунково-пояснювальній записці наведено розробки, які мають відношення до цього питання. Також наведено розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено аналіз пристроїв та способів якими визначають крутний момент. В другому розділі здійснюється розробка стенду для вимірювання крутного моменту електродвигунів побутових пристроїв. В третьому розділі проводяться розрахунки, моделювання роботи пристрою та компонування стенду для вимірювання крутного моменту електродвигунів побутових пристроїв.

Підпис студента 

" 17 " 12 20 24 р.

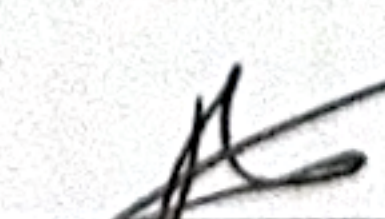
Р І Ш Е Н Н Я Е К ЗА М Е Н А Ц І Й Н О Ї К О М І С І Ї:

Протокол 5 від 27 12 20 24 р.

Оцінка роботи ЕК добре / В

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

Підпис

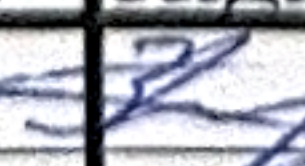
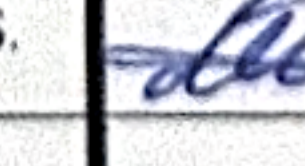


Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

" 27 " 12 20 24 р.

ЗМІСТ

стор.

Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз технічної літератури відповідно до тематики магістерської роботи.....	8
1.1 Механічні прилади для вимірювання обертового моменту.....	13
1.2 Гідравлічні перетворювачі кута закручування валу.....	17
1.3 Оптичні торсіометри.....	18
1.4 Вимірювання кута закручування торсійного валу ізотопними перетворювачами	19
1.5 Струнні перетворювачі для вимірювання зусиль на обертовому валу	20
1.6 Резонаторні перетворювачі для вимірювання крутного моменту	21
1.7 Прилади індуктивного і ємнісного методів вимірювання моменту.....	22
1.8 Перетворювачі крутного моменту з тензометрами опору.....	27
1.9 Фотоелектричні прилади для вимірювання крутного моменту....	28
1.10 Торсіографи.....	30
Висновки до першого розділу.....	33
2 Розробка стенду для вимірювання крутного моменту електродвигунів побутових пристроїв	34
2.1 Розробка пристрою для визначення крутного моменту електродвигунів побутових машин	34
2.2 Розробка конструкції імпульсного блоку живлення.....	39
Висновки до другого розділу.....	43

МРМА 24.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка стенду для вимірювання крутного моменту електродвигунів побутових пристроїв	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Золотенко І.М.					4	69
Перевір.		Михайловський Ю.Б.						
Н.контр.		Тимошук О.						
Затвер.		Неймак В. С.				ХНУ, гр. ЕТм-23-1		

3 Аналітичні дослідження процесу зняття показників крутного моменту.....	44
3.1 Методика визначення крутного моменту електродвигунів	44
3.2 Обчислювальний експеримент для визначення основних параметрів моделі	48
3.3 Оптимізація обчислюваних даних	55
3.4 Розрахунок тензOMETричного моста постійного струму	59
Висновки до третього розділу.....	65
Висновки	66
Перелік джерел посилань	67
Додатки	69

Вступ

До появи парових машин, більше двох століть тому вже стояло питання стосовно вимірювання зусиль, які передаються обертовим валом. У нашій сучасності дане питання не втратило своєї актуальності [1]. Великий асортимент різних типів двигунів та установок, певні умови роботи зі своєю специфікою, які вимагають різноманітний спектр засобів вимірювання. Модернізація енергетичних установок та електродвигунів, підвищення вимог до надійності конструкцій та установок, мінімізація електричних, механічних та теплових затрат, збільшення коефіцієнта корисної дії потребує більш вдосконалених вимірювальних засобів та апаратури.

Вимірювання обертаючого моменту викликане необхідністю визначення потужностей, що передає обертовий вал установки. Чим точніше вимірюється ефективна потужність на обертовому валу, тим якіснішим буде експеримент, тим точніші будуть результати експерименту та ККД установки. Це дозволяє виявити малопомітні фактори, що впливають на економічність силових установок [1].

Високошвидкісні рухові установки потребують більш точного вимірювання потужностей на валу, яке не можуть забезпечити звичайні системи вимірювання, є непридатними або не точними. Зі збільшенням спектру застосування високошвидкісних турбомашин на транспорті та в авіації, в ракетній техніці, потребує розробку високоякісних вимірювальних приладів для їх дослідження та експлуатації.

При проведенні випробувань на міцність також виникає питання стосовно вимірювання крутного моменту. Підтримання навантаження механізмів на певному рівні забезпечує їхню довготривалу роботу та стійкість. Для того щоб визначити навантаження у системах автоматичного регулювання застосовують торсіометричні прилади.

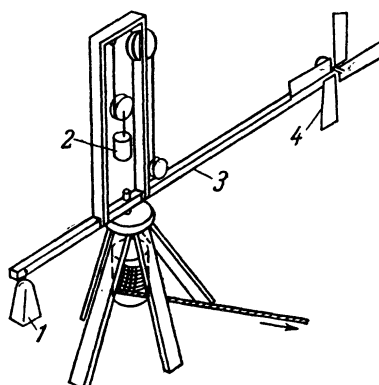
					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Робота, яка виробляється двигуном вимірюється інтегруючими пристроями, які являють собою механічні лічильники підключені до виходів торсіометрів. Торсіометричні пристрої дозволяють визначити напрацювання ресурсу двигунів та підрахувати вартість виробленої роботи. Також ще одна галузь, де використовують визначення затрат за допомогою приладів визначення крутного моменту виробництво шин кочення. За даними експериментальних досліджень за умови різних швидкостей руху, температурі, профілі дороги впроваджують заходи з підвищення довговічності шин і економічності автотранспортних коштів.

Прилади для вимірювання крутного моменту мають широкий спектр застосування на що вказує перелік завдань які вони можуть розв'язувати. Це в свою чергу створює різноманіття існуючих установок які вимірюють крутний момент.

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

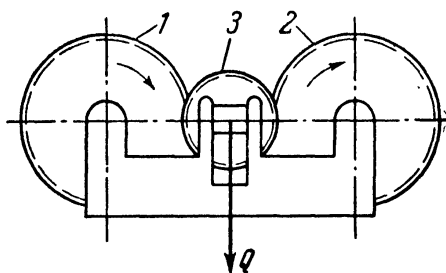
на штангу 3 та врівноважують вантажем 1. Шків з канатом приводять в рух штангу. Різний швидкісний напір повітря залежить від тяги канату. Вітрове колесо розвиває момент, який визначають за вагою вантажу 2 який підіймається. Також визначають потужність за часом який необхідно для підняття вантажу на задану висоту. В моделях динамометрів пізнішого випуску гнучка передача стає замкнутою(безперервною), а дотичне зусилля вимірюють за ступенем натягу гнучкого зв'язку.



1, 2 – вантаж; 3 – штанга; 4 – вітрове колесо

Рисунок 1.2 - Гравітаційний динамометр Сміттона

Гашетта вважають винахідником першого трансмісійного динамометра з рухомою шестернею. Динамометричні ваги Гашетта показані на рисунку 1.3. Колесо 1 передає момент до колеса 2 при цьому на вісь шестерні 3 діє сила Q , за величиною якої і визначається крутний момент.



1, 2 – колесо; 3 - шестерня

Рисунок 1.3 - Динамометричні ваги Гашетта

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Простота конструкції трансмісійних динамометрів є основною перевагою перед іншими пристроями. Широке застосування трансмісійні динамометри знайшли при експлуатації авіаційних рухових установок для вимірювання крутного моменту.

Але точність трансмісійних динамометрів є невисокою. Причиною є втрати в передачах. Згодом з'являються балансирні динамометри. Балансирні динамометри відрізняються від інших динамометрів наявністю рухомого статора. Рухомий статор в таких динамометрах пов'язаний з силовимірювальним пристроєм, який в свою чергу визначає реактивний крутний момент [2].

Є два типи балансирних динамометрів - гальмові й приводні. Гальмівні (абсорбційні) динамометри є більш поширеними. У динамометрах такого типу вимірювання моменту здійснюється поглинанням потужності, яка підводиться до динамометру, за рахунок сил опору, які в ньому виникають. Це може бути тертя (виникає у механічному гальмі), гідравлічний опір (гідрогальмо), аеродинамічний опір за рахунок вентилятора, компресора чи сил взаємодії електромагнітного поля (електричні гальма). Динамометри з механічними гальмами з'явилися першими. Першою машиною такого типу, яка застосувалась на практиці став колодковий динамометр Проні, згодом знайшли застосування гальма Томпсона.

Механічні динамометри знайшли вузьке коло застосування. Вони мали ряд недоліків, а саме нестабільний гальмівний момент, малі потужності, швидке зношення, важке відведення тепла.

Гідравлічні динамометри витіснили механічні своєю порівняною простою використання без допомоги кваліфікованої допомоги, дешевизною. При перевазі гідравлічних динамометрів у вимірюванні моменту при великих потужностях (так як володіють хорошим відведенням тепла) їх недоліком стає нестійка робота при високих швидкостях обертання, а особливо при вимірюванні малих крутних моментів.

З появою електричних машин на заміну гідравлічним динамометрам стали використовувати електричні гальмові й приводні динамометри. Електричні динамометри у порівнянні з гідрогальмами створюють більш стабільний момент, який забезпечує досить високу точність вимірювання. Електричні гальмові й приводні динамометри дають можливість використовувати потужність яка поглинається. Недоліками таких динамометрів є менша потужність та більш висока їх вартість.

Для того щоб виміряти малі крутні моменти використовують аеродинамічні динамометри. Їх також застосовують у спеціальних дослідженнях, наприклад при випробуванні авіаційних двигунів, для яких вони дозволяють створити природні умови роботи.

В приводних динамометричних установках здійснюється зворотне перетворення теплової та електричної енергії в механічну, що є відмінністю від гальмівних (абсорбційних) динамометрів. в яких вимірювання моменту здійснюється навпаки. Динамометри такого типу застосовують для визначення та випробування споживаючих енергію установок (насосів, компресорів, генераторів і т. д.).

Балансирні динамометри знайшли широке своє застосування у експериментальних дослідженнях на рухових установках. Якщо забезпечити певні умови, а саме - відсутність вібрацій, застосування спеціальних підшипників, високу стабільність швидкості обертання, то при постійному за величиною крутному моменту балансирні динамометри дають можливість проводити вимірювання з досить високою точністю (понад 0,1%).

Основними факторами які впливають на точність вимірювання балансирними динамометрами є вібрація та коливання моменту. Також вони мають високу вартість. Щоб усунути ці чинники необхідна постановка корпусу на рухомі опори і із-за застосування спеціальних вхідних пристроїв. Це ускладнює конструкцію та підіймає її вартість.

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

Відомі залежності між моментом на валу і деякими вторинними параметрами дають можливість вимірювати крутний момент у перетворювальних установках. У якості вторинних параметрів використовують величину активного струму ротора в електричних перетворювальних установках, витрату і перепад тисків на вході і виході компресорної установки, тягу, яку розвиває гребний гвинт, тощо. Перетворювальні установки є двох типів - гальмові й приводні. Перші відповідно для моторних установок, другі для установок які споживають енергію.

Вплив на точність вимірювання власних втрат (механічних, електричних і т. п.) є значним недоліком перетворювальних установок. На таких вимірювальних установках велика кількість факторів впливають на величину втрат і відповідно ККД, які змінюються на різних режимах. Так як відносна величина втрат на вимірювальних установках такого типу(електричного типу) зменшується зі збільшенням потужності, то такі пристрої застосовують для вимірювання моменту на агрегатах великої потужності.

Пізнішими пристроями для вимірювання крутного моменту стали торсіонні прилади. Фактором який вплинув на їх появу став розвиток техніки вимірювання неелектричних величин електричними методами. У торсіонних приладах вимірювання на відміну від розглянутих вище динамометрів вимірювання не пов'язане ні з перетворенням виду енергії, ні з відбором потужності на інший вал, а вимірювання крутного моменту зводиться до визначення величини деформації пружного елемента, який розташовують в ланцюзі передачі моменту. Торсіонні прилади вимірювання поділяють на два підкласи залежно від способу вимірювання деформації. Перший клас це-прилади тензометричні, в яких проводиться місцеве вимірювання деформації на обмеженій ділянці пружного елемента. Другий клас крутильні

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

торсіометри, в яких між двома обраними його перерізами вимірюється кут закручування пружного елемента.

У свою чергу крутильні торсіометри по типу використовуваних перетворювачів для вимірювання кута закручування розділяють на: електричні, оптичні, механічні і гідравлічні. Найбільшою групою є електричні перетворювачі крутного моменту.

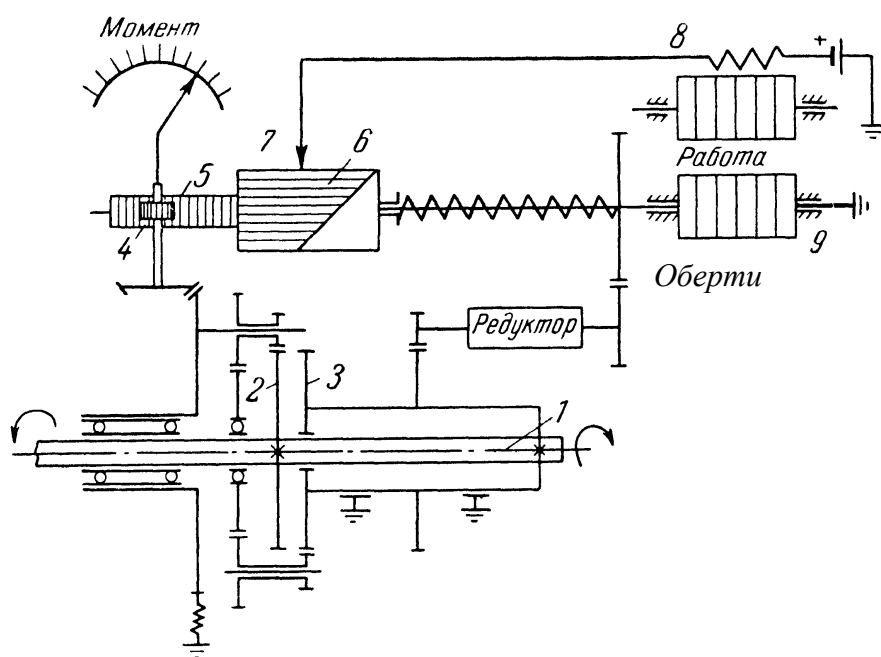
Місце установки датчиків обумовлене конструктивними особливостями, впливом відцентрових сил, впливом навколишнього середовища і особливо способом передачі вимірювальної інформації. Перетворювачів деформації встановлюють на валу, переміщення в електричний сигнал поза обертовим валом. Відповідно до такої класифікації електричні торсіометри діляться на дві підгрупи: ті які з датчиками на валу і ті як і поза валом. Ще один розподіл торсіонних приладів вимірювання виконують по виду застосовуваних перетворювачів (індуктивні, ємнісні, акорди і т. д.).

1.1 Механічні прилади для вимірювання крутного моменту

Широке застосування знайшли механічні торсіометри. Це обумовлено великою різноманітністю конструкцій які використовуються[2]. Не дивлячись на різноманітність чітко розрізняють два типи приладів - з диференціальним механізмом і з індикацією кута закручування пружного валу. Диференціальним механізмом здійснює передача показників на нерухомий індикатор, а з індикація кута безпосередньо на обертовому валу. Щоб зняти показники кута закручування пружного валу у торсіометрах останнього типу використовують стробоскопічний ефект. На рисунку 1.4 представлена схема роботоміра, який використовують для вимірювання кута закручування валу диференційного механізму.

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

Взаємне положення шестерень 2 і 3 змінюється за рахунок закручування валу 1 під дією навантаження на нього. Система шестерень збільшує кут закручування, який через диференційний механізм перетворюється в кут повороту прямозубого колеса 4 і в лінійне переміщення зв'язаної з прямозубим колесом рейки 5. Зняття показань із валу який обертається на нерухомий пристрій вимірювання здійснюється за рахунок переміщення вісі диференціала, яка пропорційна куту закручування. Рух рейки 5 змінює взаємне положення нерухомого контакту 7 і барабана 6. Контактні пластини барабана 6 мають різну довжину і це забезпечує число включень лічильника за оборот барабана пропорційно куту закручування валу, тобто крутному моменту.



1- вал; 2 і 3 - шестерні; 4 - прямозубе колесо; 5 - рейки; 6 - барабан;
7 - контакт; 8 - лічильник; 9 - вимірювальний пристрій

Рисунок 1.4 – Схема роботоміра з диференціальним механізмом для вимірювання кута закручування

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Зв'язок барабана зв'язаний з валом 1 через редуктор. Швидкість обертання барабана пропорційна швидкості обертання рухомої установки. Добуток величини крутного моменту і швидкості обертання є пропорційним загальному числу включень лічильника 8 в одиницю часу. Робота яку виробляє двигун визначається лічильником 5, який визначає інтегрування потужності в часі. Загальне число обертів (шлях пройдений двигуном) фіксує вимірювальний пристрій 9. Крутний момент (зусилля) яке передає вал відраховується за шкалою.

Для того щоб спростити конструкцію механічних торсіометрів використовують пряме зчитування безпосередньо з обертового валу. Таке спрощення використовують в стробоскопічних приладах для вимірювання крутного моменту. Аналогічно до торсіометрів з диференціальним механізмом, в деяких приладах вимірювання крутного моменту використовують пружний елемент з великим кутом закручування (до 5 град. і вище). Принцип вимірювання полягає в тому, що на одному кінці пружного елемента розташовується диск зі шкалою, на іншому кінці стрілка-показчик. Щоб зняти показники застосовують імпульсний стробоскоп який підсвічує шкалу показань. Синхронізація підсвічування стробоскопом шкали показань здійснюється за рахунок імпульсів від датчика, який встановлено на цьому ж валу.

Пристрої індикації в стробоскопічних пристроях виконують різноманітними способами. Стандартною індикацією є розміщення шкали та показчика на краю обертових дисків. Ще одним прикладом індикації є відліковий пристрій виконаний у вигляді двох циліндрів, які вставлені один в іншій (рис. 1.5). Циліндри одним кінцем жорстко пов'язані з пружним елементом і мають прорізи зроблені під кутом один до одного. На зовнішньому циліндрі нанесена шкала. Крутний момент визначається переміщенням прорізів від одного кінця валу до іншого вздовж шкали.

На прикладі стробоскопічного торсіометра фірми «Амслер» можна побачити імпульсне підсвічування шкали без зовнішнього стробоскопа з допомогою щілини в диску, встановленому на обертовому валу. (рис. 1.6). Два диска 4 і 5 з нанесеними по їх периферії шкалами встановлених на нерухомому кожусі 3, висвітлюється лампочкою 2. На диску 5 є дві шкали основна шкала і допоміжна шкала, яка має десять ступенів, що відповідають одній поділці диска 5, розташована на кромці 4. З кінцем торсіоного валка 1 жорстко пов'язані диски. Диск 6 з радіальним прорізом жорстко пов'язаний з диском 4, при проходженні через щілину спостерігається шкала в полі видимості окуляра 7.

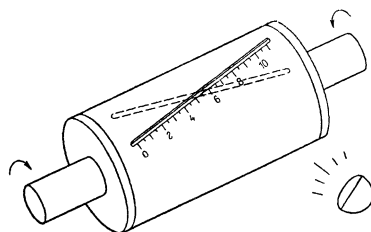
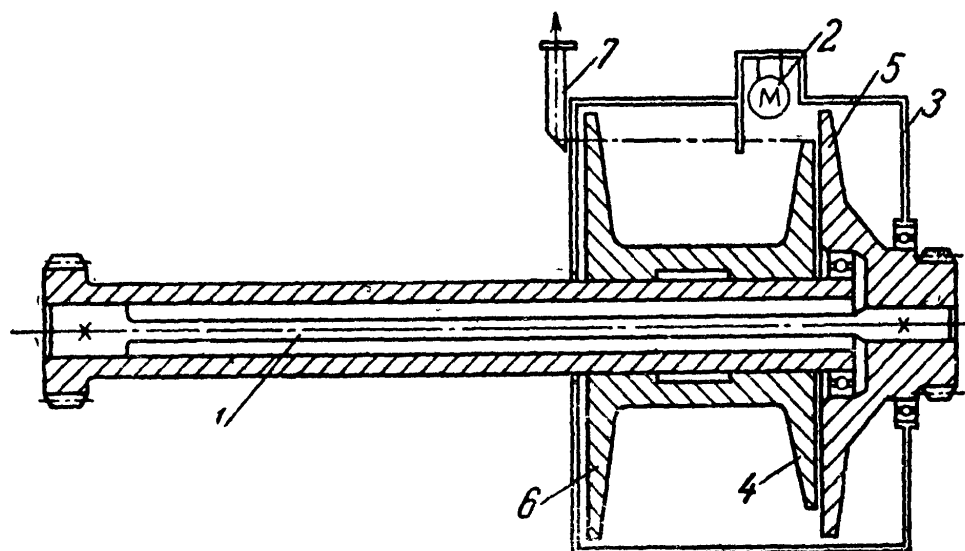


Рисунок 1.5 - Відліковий пристрій стробоскопічного торсіометра щілинного типу.



- 1- вал; 2 – лампочка; 3 - кожух; 4, 5 - диски;
6 – диск з радіальним прорізом; 7 - окуляр

Рисунок 1.6 - Конструкція стробоскопічного торсіографа фірми «Амслер»

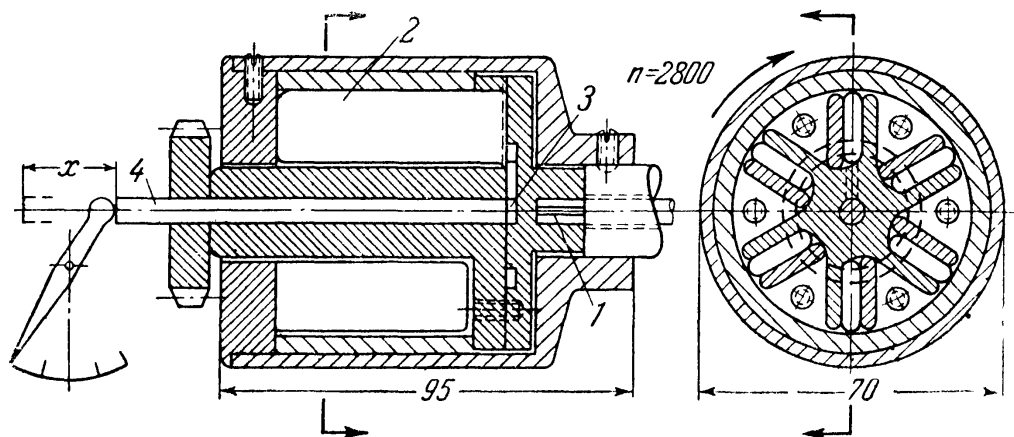
Пряме знімання показників без контакту з обертовим валом, проста вимірвальна схема належать до переваг стробоскопічних приладів.

Але такі стробоскопічні прилади мають свої недоліки. До них належать неможливість візуального зняття показань при коливаннях крутного моменту, обтяжена передача показань на відстань і автоматична реєстрація. Для проведення вимірювань необхідна участь оператора.

1.2 Гідравлічні перетворювачі кута закручування валу

Гідравлічні перетворювачі здійснюють перетворення кута закручування в осьове переміщення [2].

На рисунку 1.7, в перетворювачі, при закручуванні валу 1 зі зміною об'єму порожнини 2 рідина перетікає у вимірвальний циліндр 3 і в свою чергу здійснюється переміщення поршня 4. Перевагою такого перетворювача є простота експлуатації, не потребує особливого догляду, використання у вимірюванні змінних крутних моментів. Такі перетворювачі мають значні недоліки такі як - низька точність вимірювання та складна передача даних на записуючий пристрій.



1- вал; 2 – порожнини; 3 – вимірвальний циліндр; 4 - поршень

Рисунок 1.7 - Гідравлічний перетворювач кута закручування валу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

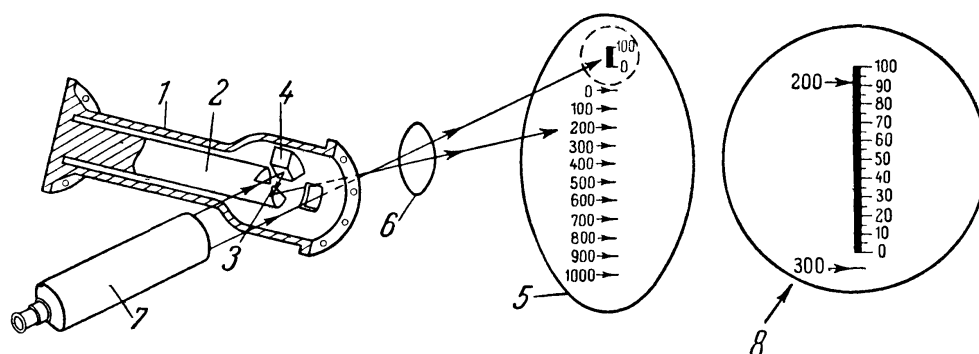
МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

1.3 Оптичні торсіометри

Для випробування двигунів в умовах лабораторного експерименту краще використовувати оптичні торсіометри [2]. Це обумовлено тим, що маючи стабільне навантаження та малий рівень вібрації можна отримати високу точність вимірювання крутного моменту.

На рисунку 1.8, наведена схема оптичного торсіометра фірми «Торкмитерс», принцип роботи якого розглянемо нижче.



- 1- циліндр; 2 – вал; 3 - дзеркало; 4 – елемент; 5 - шкала;
6 – колімаційні лінзи; 7 - телескопічний пристрій; 8 - телескоп

Рисунок 1.8 - Схема оптичного торсіографа

Порожній циліндр 1 являє собою пружний елемент, усередині якого розташована консольна ділянка вільного валу 2 з дзеркалом на кінці 3. На внутрішній поверхні пружного елемента 4 встановлено інше дзеркало. Шкали 5 нерухомо встановлено з одного боку обертового перетворювача та підсвічуються. Також встановлено колімаційні лінзи 6, які дають зображення шкал в нескінченності. Через вікно в порожнистому пружному елементі в окуляр телескопічного пристрою 7 спостерігаємо верхню шкалу з дрібними поділками. Окуляр поміщено по іншу сторону перетворювача. На поверхню дзеркала, яке встановлено на суцільному консольному валу проектується нижня шкала з великими поділками. Нижня шкала відбиваючись за Z-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

образної траєкторії від іншого дзеркала, також потрапляє в поле зору телескопа. Кут закручування пружного елемента змінюється відповідно до прикладеного до нього моменту та взаємно зміщуються на такий самий кут площини відображаючих дзеркал 3 і 4. В результаті переміщається зображення на нижній шкалі. Здійснюється накладення двох шкал, яке можна спостерігати у полі зору телескопа 8. Зображення нижньої шкали переміщається вгору зі збільшенням кута закручування. Відлік показань Здійснювати відлік показань потрібно проводити проти поділок великої шкали, поєднаних з дрібною шкалою. Така система поєднання двох шкал дає можливість збільшити точність відліку до 0,1%.

Щоб досягти високої точності вимірювань оптичними приладами необхідно забезпечити досить високоякісне виконання, та сприятливі умови експлуатації (відсутність вібрації і т. д.). У процесі застосування оптичних приладів виявлено недоліки у вигляді ручного зняття показань та відсутністю передачі результатів вимірювання на відстань.

1.4 Вимірювання кута закручування торсіонного валу ізотопними перетворювачами

Небезпека радіоактивного зараження обумовлює у край рідке застосування ізотопних установок для вимірювання крутного моменту. Існує ризик радіоактивного зараження обслуговуючого персоналу, та навколишнього середовища (пари, масло і т. д.). Також існує напіврозпад радіоактивних матеріалів у часі, а це вимагає проведення періодичних калібрувань установки або застосування спеціальних коригувальних пристроїв.

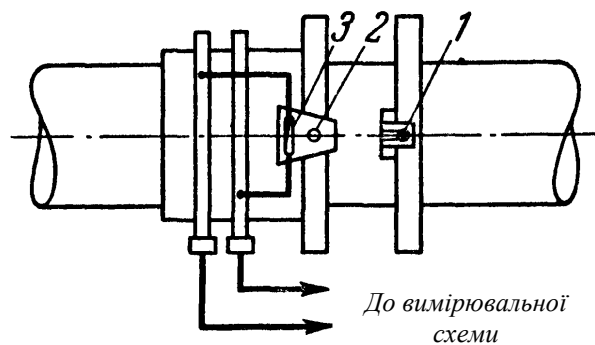
Ізотопні перетворювачі крутного моменту мають і свої переваги. Перетворювачі такого типу не потребують спеціального живлення. Відсутній

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

вплив температури, тиску та швидкості обертання на випромінювання ізотопів, існує можливість калібрування у нерухомому положенні.

Схема установки з ізотопним перетворювачем наведена на рисунку 1.9 [2]. У якості джерела випромінювання в установці використовується випромінювач 1.

В іонізаційній камері 3 сфокусований потік променів спрямовується на чутливий елемент 1. Коли навантаження на валу відсутні то поглинаючий промені штир 2 перекриває чутливий елемент. Діаметр штиря є рівним діаметру сфокусованого пучка променів.



1 – елемент; 2 – штир; 3 - іонізаційна камера

Рисунок 1.9 - Схема радіоізотопного перетворювача кута закручування

Під дією крутного моменту вал починає закручувати і перекриття пучка променів стає неповним. Відбувається зміна ступеня впливу пучка променів на іонізаційну камеру. За допомогою струмоз'ємника здійснюється передача сигналу від іонізаційній камери до нерухомого вимірального приладу.

1.5 Струнні перетворювачі для вимірювання зусиль на обертовому валу

В останні роки струнні перетворювачі для вимірювання зусиль стають все більш розповсюдженими. Висока точність вимірювання зусиль

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

забезпечується високою добротністю коливальної системи та можливістю використання цифрової техніки для реєстрації показань.

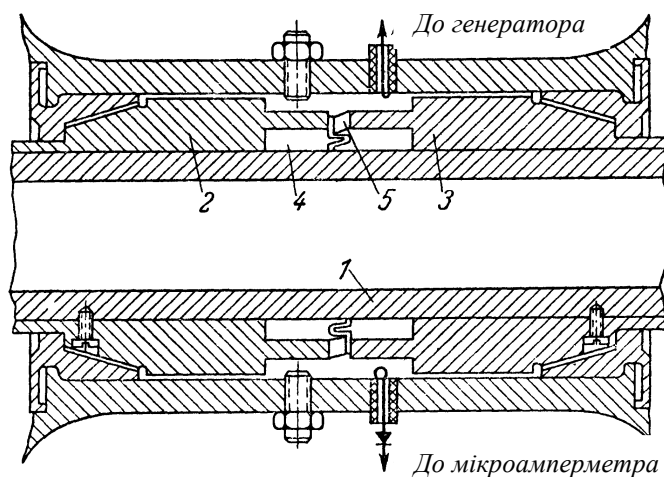
Конструкція найпростішого динамометра зі струнним перетворювачем [2] являє собою вал, за допомогою хомутів на якому прикріплюються два кронштейна, між якими поперек валу натягається сталева струна. Коли на валу виникає крутний момент з'являється деформація і кронштейни з хомутами переміщуються та змінюють натяг струни. Електромагнітний датчик уловлює зміну частоти власних коливань струни під дією натягу. Вимірювальна схема через безконтактне трансформаторне заземлення отримує електричні сигнали. Електромагнітний збудник отримавши сигнал через посилююче кільце порушує коливання струни.

Сучасні струні перетворювальні пристрої мають значно більш складну конструкцію «струни». На таких пристроях вдосконалюють способи компенсації відцентрових сил, які є основним недоліком струнних торсіометрів. Максимальний кут закручування якого не перевищує $0,5-0,3^\circ$ дозволяє отримати досить жорстку конструкцію пружної ланки.

1.6 Резонаторні перетворювачі для вимірювання крутного моменту

На рисунку 1.10 представлено конструкцію резонаторного перетворювача [3]. Принцип роботи полягає в тому, що ділянка порожнього валу 1 яка скручується містить дві зубчасті втулки 2 і 3. Втулки утворюють резонансну порожнину 4. Електронно-променевий, світлопроменевий осцилографі та мікроамперметр отримують сигнал з виходу напівпровідникового детектора високочастотного генератора, який з'єднаний з резонансною порожниною.

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



1- вал; 2, 3 – зубчасті втулки; 4 - порожнина; 5 - зазор

Рисунок 1.10 - Об'ємний резонатор для вимірювання крутного моменту

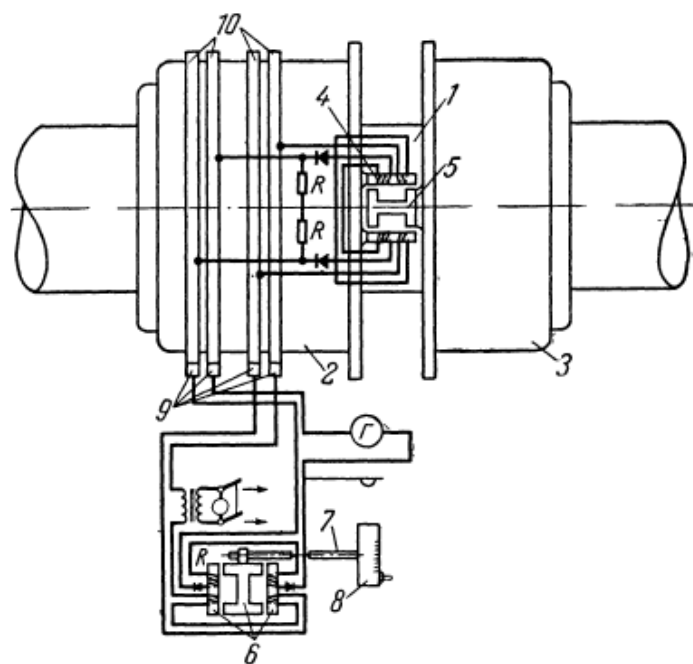
За рахунок прикладеного моменту закручується вал та змінюється зазор 5 між стінками зубів. Як результат змінюється резонансна характеристика порожнини. Такі дії викликають зміну сигналу на виході детектора.

Складна конструкція обладнання сприяла тому щоб резонаторні перетворювачі не отримали широкого розповсюдження. Навіть висока точність вимірювання не змогла компенсувати цей недолік.

1.7 Прилади індуктивного і ємнісного методів вимірювання моменту

Для того щоб виміряти крутний момент в індуктивних перетворювачах, в результаті закручування пружного елемента визначається зміна зазору в магнітній системі приладу. Відбувається зміна індуктивності. Застосовуються контактні струмознімачі щоб у більшій частині приладів, які використовують цей метод щоб мати зв'язок з обертовим валом. Типовим приладом, що використовують індуктивний перетворювач, є прилад фірми Сіменс [4]. В пристроях такого типу є застосування компенсаційної схеми з двох аналогічних індуктивних перетворювачів (рис. 1.11). Один

перетворювач встановлено безпосередньо на обертовому валу 1. Перетворювач кріпиться до двох масивних фланців 2 і 3. На одному фланці встановлюється сердечник з котушками 4, на іншому фланці встановлюється якорь 5. Вал 1 під дією навантаження скручується і, зазори між якорем і обома сердечниками індукційного перетворювача змінюються в протилежних напрямках. Перетворювач 6 встановлено нерухомо. Тут відбувається імітація деформації пружного валу за рахунок переміщенням якоря з допомогою мікрометричного гвинта 7, який забезпечений відліковим лімбом 8. Контактні струмознімачі у вигляді міднографітних щіток 9 здійснюють зв'язок з встановленим на валу перетворювачем з латунними кільцями 10. Наведена схема підключення перетворювачів дає можливість виключити вплив змін напруги живлення на результати вимірювання. Щоб виміряти зміну складових крутного моменту в вимірювальний ланцюг необхідно підключити осцилографічний гальванометр або сенсорний самописець.



1 – вал; 2 , 3 – фланці; 4 – котушка; 5 – якорь; 6 – перетворювач;
7 – гвинт; 8 – лімб; 9 – щітки; 10 - кільця

Рисунок 1.11 – Схема індуктивного торсіометра з контактним струмознімач

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

Використання контактних пристроїв знімання струму ускладнює експлуатацію перетворювачів і знижує їх точність вимірювання. З метою покращення якості вимірювань крутного моменту в ряді пристроїв краще використання безконтактних індуктивних перетворювачів крутного моменту.

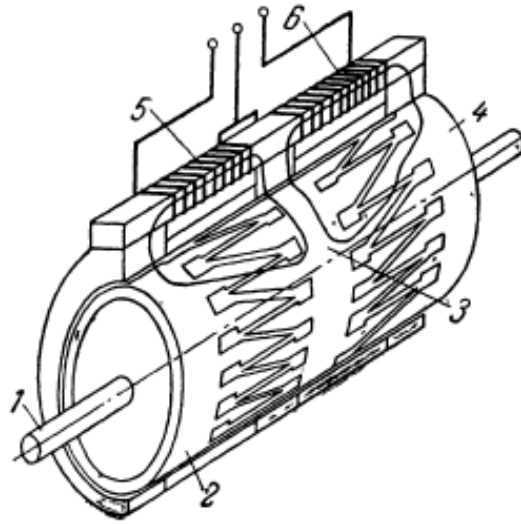
На рисунку 1.12 наведено схему на якій можна бачити принцип дії таких перетворювачів. Пружній вал 1 піддається скручуванню. На трьох його перетинах закріплено три сталевих кільця 2-4 з зубцями, які утворюють між собою робочі зазори, через які проходить магнітний потік котушок 5 і 6.

Коли відбувається скручування валу один з зазорів зменшується, інший збільшується. Це викликає зменшення індуктивного опору однієї котушки та збільшення індуктивного опору іншої котушки.

Якісне механічне виконання приладу, яке повністю виключає взаємний люфт деталей [2,7] забезпечить досить задовільну точність вимірювання. Щоб виміряти і записати постійний момент в цих перетворювачах застосовують автоматичні мости.

Щоб виміряти і записати динамічний момент використовують схеми нерівноважного мосту з включенням в ланцюг вимірювання осцилографічного гальванометра.

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



1 – вал; 2, 3, 4 – кільця; 5, 6 - котушка

Рисунок 1.12 – Схема індуктивного безконтактного перетворювача кута закручування валу.

Безконтактні індуктивні перетворювачі знайшли широке застосування в великому діапазоні визначення крутних моментів. Особливості їх конструкції дозволяють вимірювати показники на високошвидкісних установках.

Перевагами індуктивних торсіометрів є малий вихідний опір, низький рівень перешкод, відносно висока чутливість, можливість застосування в мостових вимірювальних схемах. На них не впливають фактори навколишнього середовища (забруднення, вологості, забруднення маслами).

Менш поширеними є ємнісні перетворювачі для вимірювання крутного моменту. Причиною є те, що вони більш схильні до дії перешкод і наведень та впливу різних зовнішніх факторів, таких, як зміна температури і особливо вологості середовища, її запиленості тощо.

Однак при використанні на високошвидкісних установках, ємнісні торсіометри мають переваги за рахунок більш простої конструкції, яка легко піддається балансуванню і стійкості до дії відцентрових сил.

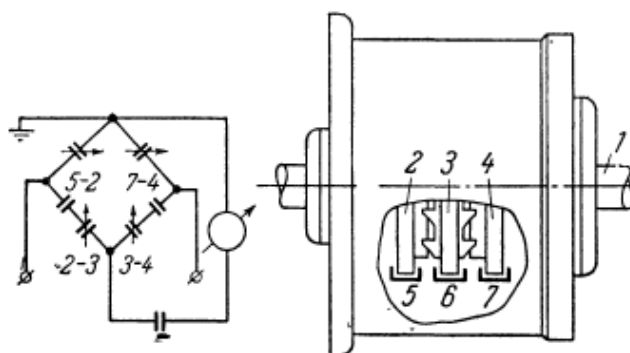
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

На рис. 1.13 показано ємнісний перетворювач, призначений для роботи на надвисоких швидкостях обертання до 100 000 про/хв. На валу який піддається скручуванню встановлено три диска 2-4, які ізольовані від валу. Виступи на середньому диску і припливи на крайніх утворюють обкладки конденсаторів, які включені в схему мосту.

Ємнісний струмознімач, в якому зв'язок з кожним з дисків здійснюється за допомогою двох тонких кілець, які охоплюють диск з двох сторін на пристрої є безконтактним.



1 – вал; 2, 3, 4 - диски

Рисунок 1.13 – Схема ємнісного перетворювача кута закручування.

Заземлення у такій схемі виконано так, що будь-яке невелике взаємне переміщення диска і кілець виробляє взаємно компенсовані зміни у двох паралельно під'єднаних конденсаторах. Як результат загальна ємність конденсатора зв'язку змінюється незначно.

Індуктивні та ємнісні перетворювачі здатні здійснювати вимірювання і при обертанні вала, і в нерухомому стані. Це є їхньою перевагою над іншими вимірювальними приладами. Вимірювання в нерухомому стані дозволяє точно калібрувати перетворювачі.

1.8 Перетворювачі крутного моменту з тензометрами опору

Ще одним способом вимірювання деформацій є використання тензометрії опору. Тензометри опору можна використовувати в перетворювачах для вимірювання крутного моменту.

Стандартною схемою для вимірювання крутного моменту на валу є схема з чотирма тензодатчиками, розташованими на валу під кутом 45° до осі. Така схема збільшує чутливість, покращує лінійність характеристики. Розташування датчиків на валу під кутом 45° до осі дає можливість знизити чутливість перетворювача до деформацій згину та напружень які виникають при стисненні або розтягуванні валу.

Термокомпенсаційний опір який підключено послідовно в мостову схему дозволяє знизити або компенсувати вплив температур на показники вихідного сигналу та зміни модуля пружності.

Простота конструкції, невеликі розміри та мала база вимірювань є перевагами таких тензометричних перетворювачів.

Щоб передати показання з обертового валу на нерухомий прилад вимірювання у тензометричних перетворювачах використовують знімачі струму, що є недоліком перетворювачів такого типу. Для усунення цієї проблеми можливо застосування знімачі струму безконтактного типу (див. р. III).

Перетворювачі тензометричного типу порівняно просто вирішують завдання з вимірювання потужності двигунів. З цією метою напругу від тахогенератора, який сполучений з валом подають на мостову схему. Добуток к моменту валу та його швидкості обертання дає нам пропорційний вихідний сигнал.

Показана система для вимірювання енергії, яку споживає іригаційний насос [2]. Призначення такої установки полягає в безперервній роботі в пустелі впродовж багатьох місяців без участі обслуговуючого персоналу.

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

Енергія яку споживає насос енергія відображається на циферблаті лічильника за інтегратором; точність вимірювання становить 1,5%.

Деформації згину валу є недоліком тензометричних перетворювачів. Мостова схема не може забезпечити повну компенсацію цих деформацій.

Тому, щоб зменшити вплив деформацій використовують спеціальні пружні елементи, так звана «біляча клітка» (рисунок 1.14).

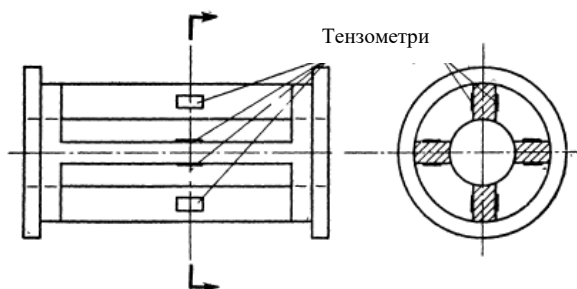


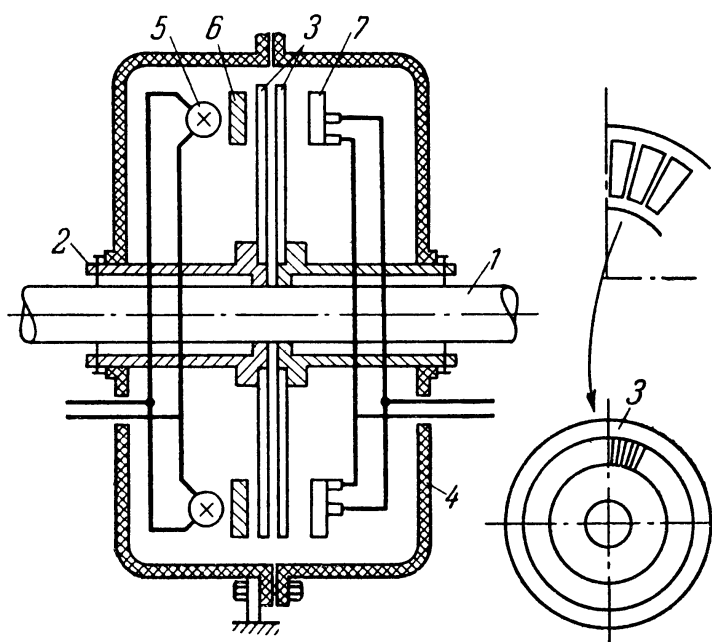
Рисунок 1.14 – Пружний перетворювач типу «білячій клітці» тензометричного торсіометра.

Під дією крутного моменту утворюється вигин та здійснюється кручення чотирьох балочок, які в свою чергу закріпленні з обох кінців. Тензодатчики наклеєні на бічні сторони балочок. Властивостями такого пружного елемента на відміну від торсіонного валу є більш висока чутливість до крутного моменту. Як наслідок більшої жорсткості на вигин пружній елемент менш чутливий до деформацій згину.

1.9 Фотоелектричні прилади для вимірювання крутного моменту

Конструкцію фотоелектричного торсіометра [2, 5] представлено на рисунку 1.15. Вал 1 піддають скручуванню. На валу за допомогою болтів фіксуються дві циліндрові втулки 2 з растровими дисками 3. Диски мають по периферії 160 радіальних прорізів. Растрові диски знаходяться на близькій відстані один від одного. Це обумовлено усуненням шкідливого впливу пів

тіней. Вони викликають звуження лінійної ділянки перетворення і погіршують точність приладу. Вісім автомобільних лампочок 5 виступають у якості джерела світла. Лампочки закриває матове скло 6. З протилежного боку дисків знаходяться вісім фігурних селенових фотоелементів 7. Вони утворюють суцільне кільце. У свою чергу джерела світла та фотоелементи розміщено всередині нерухомого кожуха 4.



1 – вал; 2 – втулка; 3 – диски; 4 – корпус; 5 – лампочки;
6 – скло; 7 – фотоелемент

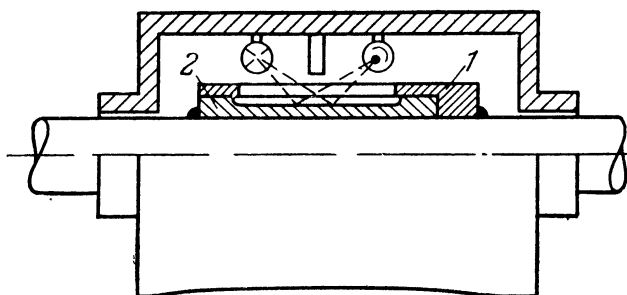
Рисунок 1.15 - Схема конструкції фотоелектричного динамометра

Характеристики приладу:

- максимальне закручування валу становить $0,75^\circ$,
- максимальна швидкість обертання валу 6000 об/хв,
- погрішність виміру 3-5%.

З метою модифікації приладів такого типу приладів встановлюють динамометр. В такому динамометрі растрові диски виконано у вигляді втулок які мають соосність між собою, а вал є відбиваючою поверхнею [2, 6].

В таких пристроях зовнішня втулка 1 виконана так само, як і в попередньому приладі, а полірована поверхня внутрішньої втулки 2 має канавки. Вплив пів тіней на результати вимірювань зменшується за рахунок зменшення зазору між втулками. Це дозволяє розширити лінійний діапазон приладу та зменшити початковий струм, величина якого становить зазвичай 50% максимального струму.



1, 2 - втулки

Рисунок 1.16 - Фотоелектричний торсіометр з відбивною втулкою

Перевагами фотоелектричних динамометрів є простота схеми, вимірювання показників в нерухомому стані і в момент обертання. Вони дозволяють проводити вимірювання моменту на нерозрізних валах без контакту з обертовим валом. Спектр застосування приладів у визначення як постійного моменту, так і змінних його складових з частотами до 50 гц.

Не лінійність шкали, низька точність вимірювання та складність конструкції є недоліками фотоелектричних торсіометрів.

1.10 Торсіографи

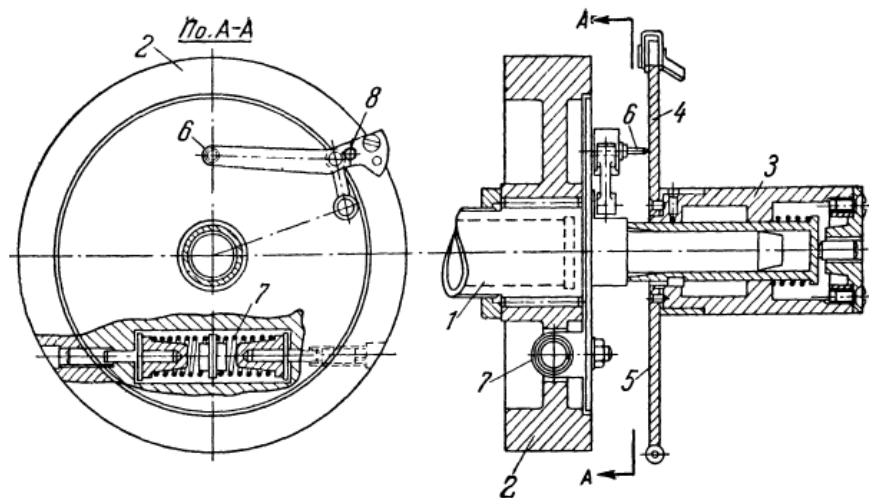
Торсіографи відносять до групи вібраційних приладів [2, 7]. Вони є самостійним класом приладів для вимірювання крутильних коливань валів, що обертаються.

Махова маса є основним елементом конструкції торсіографа. Вона пов'язана з валом пружною пружиною та вільно сидить на осі вала. Кутове

переміщення махової маси в часі відносно валу фіксується системою реєстрації торсіографа.

Прилади такого типу виготовляють фірми «Дженерал Моторс» і «Асканія».

На рисунку 1.17 показаний торсіограф фірми «Дженерал Моторс». Вал 1 приводить в рух масу 2, ступицю 3 з диском 4. На диску знаходиться аркуш паперу 5. Рух маси 2 відповідно передається перу 6 через пружини 7 та важільні системи 8, що збільшує кутове переміщення.



1 – вал; 2 – маса ступиці; 3 – ступиця; 4 – диск; 5 – аркуш паперу; 6 – перо; 7 – пружина; 8 – важільна система

Рисунок 1.17 – Схема торсіографа фірми «Дженерал Моторс»

Така система реєструє коливання тільки за один два оберти і це є суттєвим недоліком.

На рисунку 1.18 зображено схему торсіографа фірми «Асканія». Торсіограф такого типу здійснює безперервну реєстрацію кутових коливань. Але така схема але не дає можливості збільшувати величини, які реєструються торсіографом. У такій схемі маховик 1 зв'язаний з валом 2 за допомогою двох спіральних пружин, а перо 3 з'єднане з маховиком. Для того щоб зафіксувати результат необхідно вручну загальмовувати барабан 4.

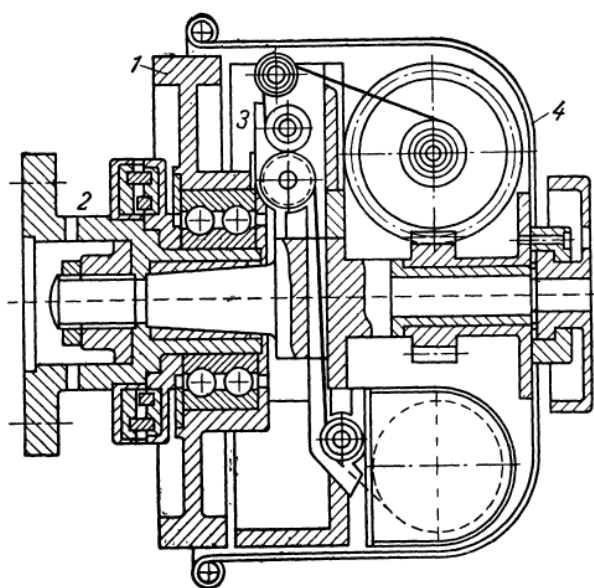
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Але черв'як і планетарний механізм не зупиняються, що спричиняє подальшу подачу стрічки.

Низька точність отриманих результатів та неспроможність чіткої фіксації стають недоліком таких торсіографів. Щоб усунути ці недоліки в систему торсіографа включають електричні перетворювачі, які є подібними до розглянутих вище перетворювачів кута закручування. Нерухомі пристрої здійснюють реєстрацію та фіксацію отриманих результатів.



1 – маховик; 2 – вал; 3 – перо; 4 - барабан

Рисунок 1.18 – Схема торсіографа фірми «Асканія»

Коли постає питання вимірювання високочастотних складових крутильних коливань, то застосовуються індуктивні і п'єзоелектричні перетворювачі.

Також з цією проблемою чудово справляються торсіографи. Для цього на виході торсіографів сигнал, який з них виходить піддається подвійному диференціюванню. Такі дії дозволяють знайти кутове прискорення валу, а отже відповідно, і крутний момент валу.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Висновки до першого розділу

Проаналізувавши пристрої та способи якими визначають крутний момент електродвигунів, а також розгляд теоретичних аспектів даного питання можна зробити певні висновки. Згідно з теоретичними даними пристрої для визначення крутного моменту електродвигунів поділяють на чотири типи: трансмісійні, балансуєчі, пристрої перетворення та торсіонометри.

Взявши до уваги переваги та недоліки пристроїв для визначення крутного моменту, визначено, що існуючі конструкції пристроїв є недосконалими. Їх конструкція не дає можливості враховувати фізичні, механічні, динамічні, теплові властивості сучасних електродвигунів побутових пристроїв та машин. Робимо висновок, що для визначення крутного моменту електродвигунів ефективніше застосовувати пристрої, які встановлені на стендах та лабораторних установках.

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

2 Розробка стенду для вимірювання крутного моменту електродвигунів побутових пристроїв

2.1 Розробка пристрою для визначення крутного моменту електродвигунів побутових машин

Підвищення коефіцієнта корисної дії означає підвищення показників електродвигунів. Для того щоб знайти нові показники електродвигунів вдосконалюють вимірювальні пристрої. Призначення стенду полягає у вимірюванні крутного моменту електродвигунів побутової техніки в діапазоні потужностей 100 -750 Вт. Побутова техніка має малопотужні двигуни потужністю 0,6 кВт (пилосмоки), 0,7 кВт потужність моторів холодильників, 0,3 кВт потужність мотору мікрохвильової печі, електромотор кавомолки 0,5 кВт.

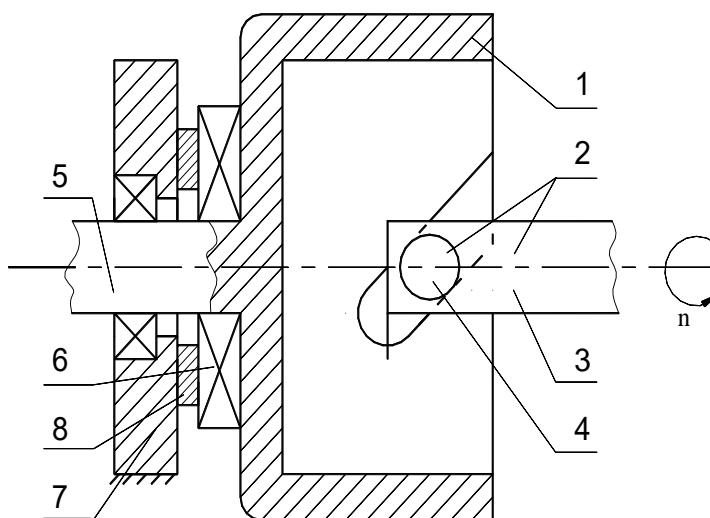
В основу конструкції пристрою для вимірювання показників крутного моменту поставлена задача щодо підвищення ефективності та якості вимірювання показників крутного моменту. Щоб цього досягнути будемо змінювати та вдосконалювати відомі конструкції пристроїв вимірювання крутного моменту. Конструкція пристрою має муфту із пазами, які виконані під кутом. Завдяки цьому крутне зусилля розкладається на осьові та радіальні зусилля. Датчики, що встановленні між підшипниками та корпусом отримують осьове зусилля. Такий спосіб встановлення датчиків дозволяє отримувати більш точні дані під час проведення експериментальних досліджень.

Пристрій для визначення крутного моменту електродвигунів побутових машин зображено на рисунку 2.1. До конструкції пристрою відноситься напівмуфта 1 у вигляді чашки з кутовими прорізами. В напівмуфту вставляється з'єднувальний елемент напівмуфти 2, до складу якого входить вал 3 та з'єднувальний елемент 4. Між корпусом 7 та радіально-упорним

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

підшипником 6 встановлено датчик 8. Гальмівну муфту (рисунок 2.2) приєднано до вала 5 напівмуфти 1. Електродвигун з'єднано з валом 3 напівмуфтою 2 (рисунок 2.2).

Принцип роботи пристрою полягає в тому, що електродвигун (на рис. не показано) передає крутний момент на вал 3 напівмуфти 2. Кутові прорізи у напівмуфті 1 розкладають зусилля на радіальне та осьове. Вал 5 напівмуфти 1 передає радіальне зусилля на гальмівну муфту. Встановлення додаткової конструкції для зняття крутного моменту забезпечує отримання більш точніших даних під час проведення експериментальних досліджень. Датчики 8 встановлені на нерухомій поверхні передають без перешкод електричний сигнал напряму до пристрою реєстрації. Прорізи виконані під кутом до осі обертання валу 3 та розташовані на поверхні чашки напівмуфти 1 передають зусилля крутного моменту на датчики 8.



1 – напівмуфта; 2 - з'єднувальний елемент напівмуфти; 3 -

Рисунок 2.1 - Пристрій для визначення крутного моменту електродвигунів побутових машин

Передача крутного моменту від валу двигуна здійснюється через з'єднувальний елемент 4. Сам елемент має форму стержня. Він контактує з прорізами напівмуфти 1. Прорізи напівмуфти 1 виконані під кутом, яка

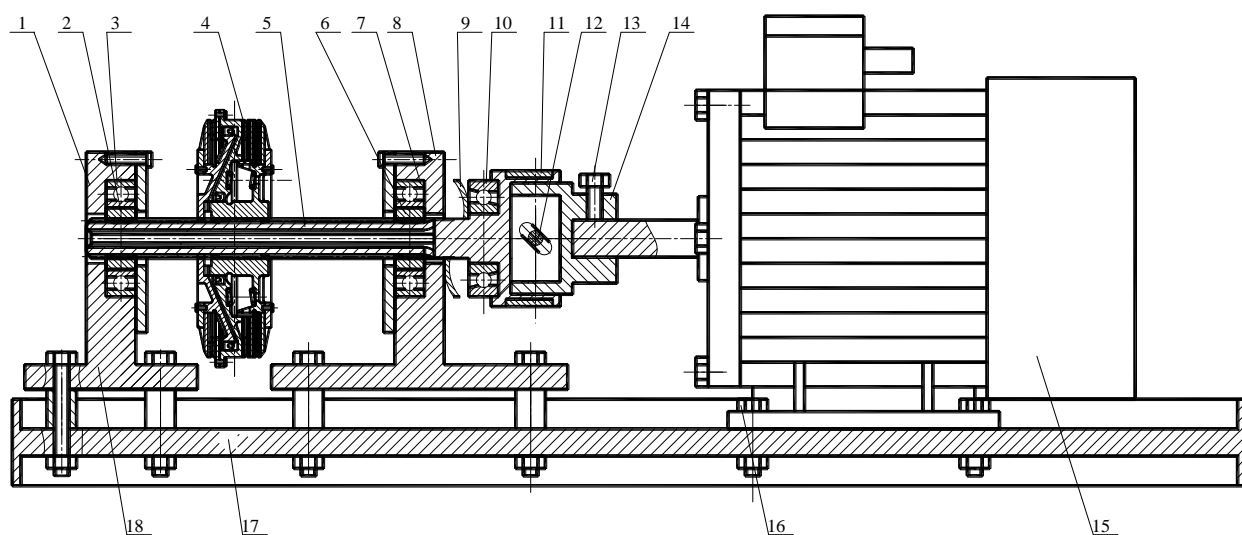
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

передає крутне зусилля в осьовому та радіальному напрямках. Співвідношення передачі залежить від кута нахилу прорізів напівмуфти 1. Датчики 8 вимірюють зусилля, які виникають в осьовому напрямку.

Зміна конструкції пристрою дозволить підвищити ефективність вимірювання показників крутного моменту. Муфта яка має пази виконані під кутом, в запропонованій конструкції розкладає крутне зусилля на радіальне зусилля та осьове зусилля. Осьове зусилля передається на датчики, які встановлені між корпусом та підшипниками. Такий спосіб встановлення датчиків забезпечує отримання більш точних даних під час проведення досліджень.



- 1 – корпус; 2 – втулка; 3 – підшипник; 4 – гальмівна муфта;
 5 – напівмуфта; 6 – втулка; 7 – підшипник; 8 – корпус;
 9 – хвилясте кільце; 10 – радіально-упорний підшипник;
 11 – фіксуюче кільце; 12 – з'єднувальний елемент; 13 – гвинт;
 14 – напівмуфта; 15 – електродвигун; 16 – болтове з'єднання;
 17 – станина; 18 – корпус

Рисунок 2.2 – Стенд для визначення крутного моменту електродвигунів побутових машин

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

Пристрій для визначення крутного моменту кріпиться на гальмівній муфті УВ3146 із пневматичним включенням. Її встановлюють на устаткування для періодичного з'єднання ведучого валів привода машин з веденими, а також для постійного гальмування останніх при безупинно працюючому електродвигуні.

Перевагами конструкції гальмівної муфти є:

- жорстко збалансована конструкція;
- хід циліндра по мірі зношування фрикційних накладок можна підстроювати;
- хід циліндра муфти, який виключає здвоювання ходів машини.

Поверхні тертя й прилягаючі до них деталі необхідно розконсервувати і знежирити.

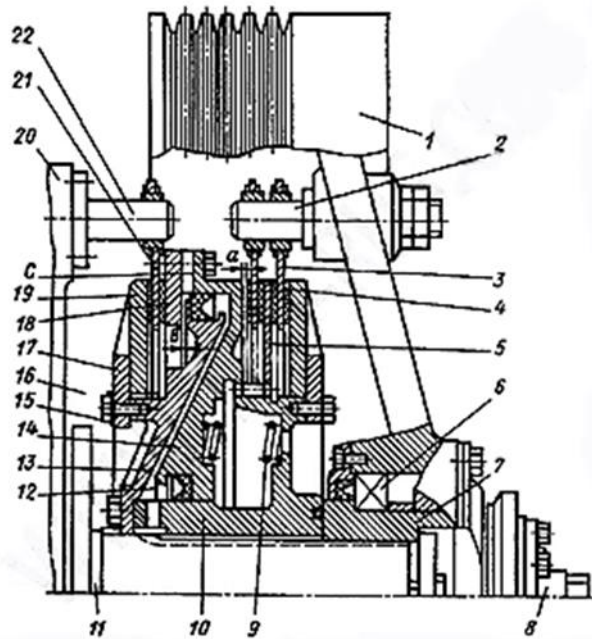
Таблиця 2.1 - Технічні характеристики гальмівної муфти

Найменування параметра гальмівної муфти УВ	Модель гальмівної муфти
	<u>УВ3132</u>
Крутний момент, кгс*м	160
Гальмівний момент, кгс*м	40
Момент інерції, що виникає на ведених деталях, кгс*м	2,68
Робочий тиск повітря, мПа	0,45
Витрата повітря на одне включення, літр	-
Найбільше число включень у хвилину	63
Зовнішній діаметр муфти, мм	395
Умовна позначка внутрішнього шліцьового отвору за по ДСТУ 6033-80, мм	55ХН7Х2,5
Маса, кг	37

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.



- 1 - корпус; 2,22 - пальці; 3 - провідні диски муфти; 4 - фрикційні накладки;
 5 - проміжний диск муфти; 6 – підшипник; 7, 15, 17 - втулка;
 8 - повітря підвідна головка; 9 - пружини; 10 - маточина;
 11 - вал; 12 - пневмокамера; 13 - поршень; 14 - циліндр;
 18 - натискний диск гальма; 19 - опорні диски муфти та гальма; 20-
 станина; 21 - гальмовий диск

Рисунок 2.3 - Гальмівна муфта УВ

В конструкцію гальмівної муфти УВ входять провідні диски муфти із фрикційними накладками 4, маточини 10 з нерухомо приєднаним поршнем 13, циліндра 14, що переміщається уздовж осі. Опорні диски, 19 муфта й гальма, посаджені на різьблення маточини 10 і поршня 13. Туди ж входять натискний диск 18 гальма, жорстко закріплений на циліндрі, проміжний диск 5 муфти, гальмівний диск 21 із фрикційними накладками.

Принцип роботи гальмівної муфти УВ полягає в проходженні стисненого повітря через повітря підвідну головку 8. Вал 11 переміщається у

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

пневмокамеру 12, зміщує циліндр 14 уздовж осі вала убік муфти й затискає провідні диски 3 муфти, які пов'язані з постійно обертовим маховиком 1 через пальці 2. Диски забезпечують передачу крутного моменту через маточину 10 на вал 11.

Стиснене повітря із пневмокамери у момент гальмування вала випускається в атмосферу через відвідну головку, сполучний рукав та триходовий здвоєний заблокований клапан. Гальмування здійснюється завдяки циліндру 14, який під впливом пружин 9 повертається убік гальма й затискає гальмівний диск 21, що сидить на пальцях 22, зв'язаних зі станиною 20. Зношення фрикційних збільшує хід циліндра 14 у бік муфти, так й убік гальма., Це спричиняє зношування манжет поршня й більшої витрати стисненого повітря. Коли хід циліндра становить 3,5 мм гальмівну муфту необхідно регулювати.

2.2 Розробка конструкції імпульсного блоку живлення

Блок живлення є основною складовою всіх електронних пристроїв. Його робота полягає в пониженні підведеної від мережі напруги. Такі джерела імпульсного живлення знайшли своє застосування в багатьох радіоелектронних пристроях. Джерелами живлення можуть бути трансформатори, діодні мости та конденсатори фільтра. Розміри блоку джерела живлення залежать від потужності трансформатора. Потужний трансформатор відповідно важчий та масивніший блок джерела живлення.

На рисунку 2.4 показано простий блок живлення без стабілізації вихідної напруги. Генератор і силові ключі є складовою такого блоку.

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

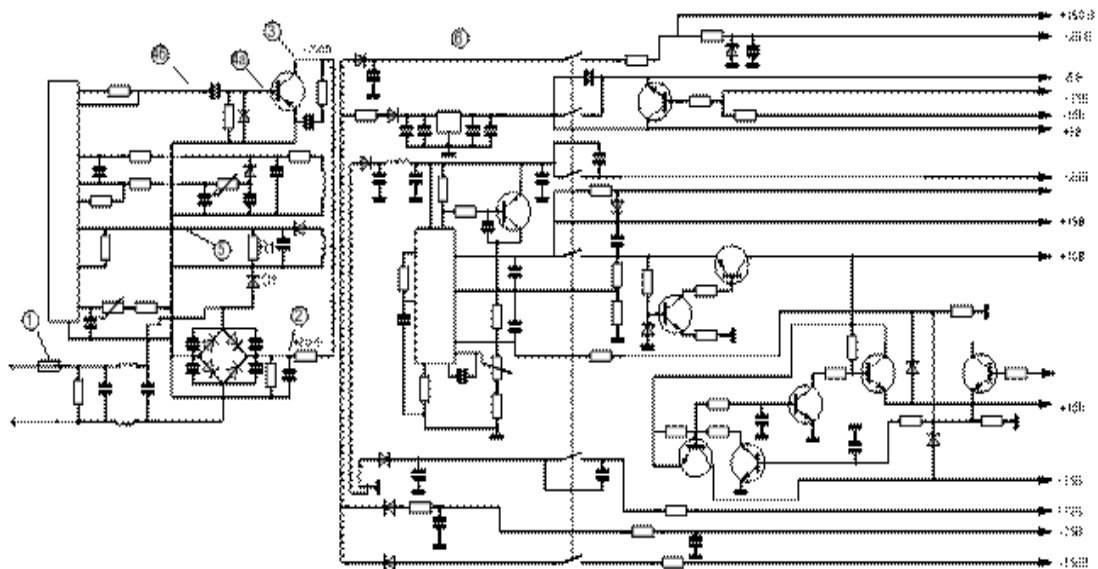


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд схема електрична принципова імпульсного блоку живлення

З метою спрощення схеми робимо заміну мікросхемою 142ЕН8А блоку стабілізації на транзисторах VT1, VT2 і стабілітроні VD6. Така заміна забезпечує кращу стабілізацію вихідної напруги для генератора. Вторинні симетричні обмотки імпульсного трансформатора їх є дві з'єднуємо разом.

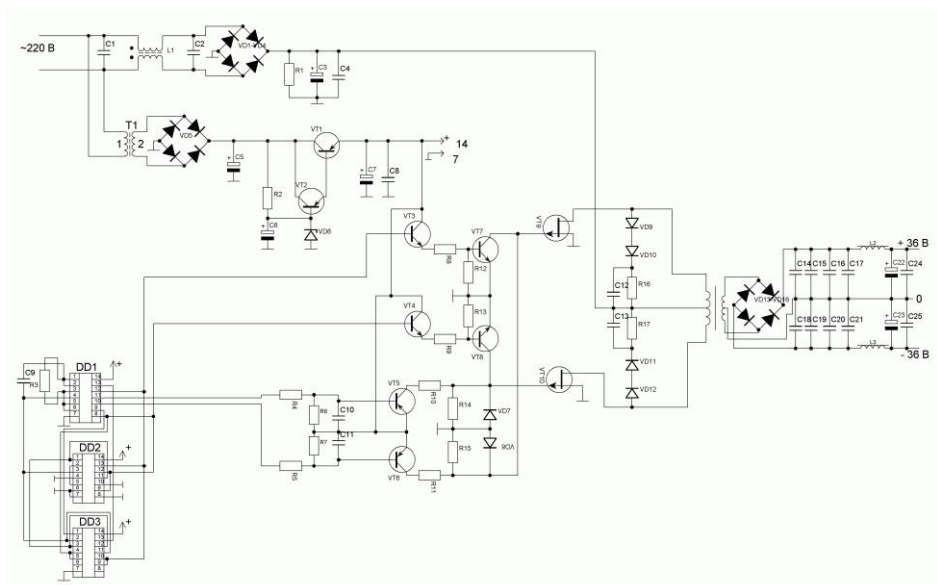


Рисунок 2.5 – Схема електрична принципова імпульсного блоку живлення

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Вигляд друкованої плати:

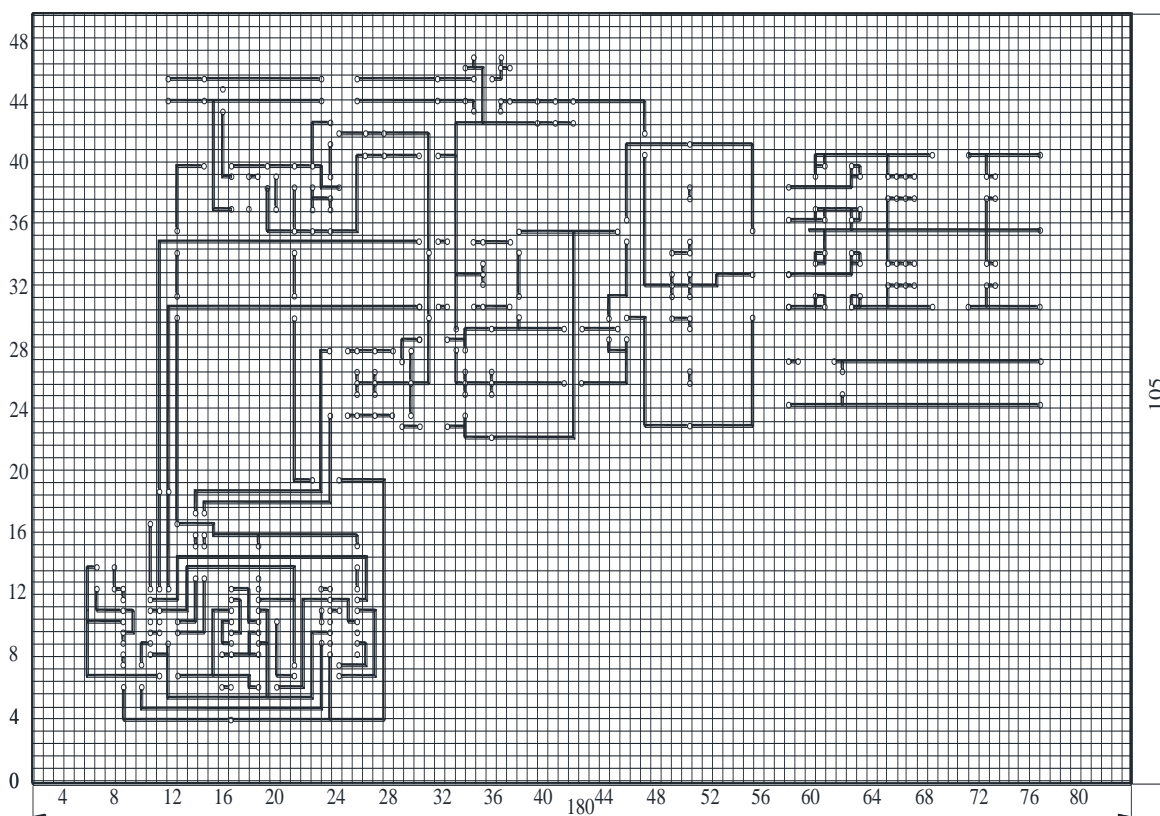


Рисунок 2.6 - Друкована плата імпульсного блоку живлення

Резистори, які встановлюються в блок живлення є або радянські МЛТ або закордонного виробництва та є низьковатними. Виключення становлять резистори R16 й R17, номіналом 10 кОм. При потужності в 10 Вт, їх виготовляють із високоомного дроту який накручують на каркас.

Високочастотний трансформатор є основною складовою імпульсного блоку живлення. Виготовляють такий трансформатор на феритових кільцях або на прямокутному каркасі. Щоб отримати потужність блоку в 1 кВа потрібно скласти три кільця марки M2000HM1-B розміром 45x28x12. Вони утворюють суцільний ферит розміром 45x28x36. Кільця між собою з'єднують з допомогою епоксидного клею. Оскільки трансформатор перетворювач енергії то його потужність вимірюється у вольт-амперах.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

При проектуванні плати всі деталі розташовують із одного боку, мікросхеми з боку доріжок. З метою поліпшення пульсації між ніжками 7 та 14 кожної мікросхеми запаюють паперові конденсатори на 0,01 мкФ. Високочастотну складову на виході згладжує фільтр.

Небезпеку в імпульсному блоці живлення становить високоємкісний конденсатор С3. Він є джерелом напруги всього блоку. При налаштуванні та ремонті блоку необхідно дотримуватись правил техніки безпеки оскільки високоємкісні конденсатори мають великий струм та напругу.

Робота транзисторів може відбуватись в двох режимах: в ключовому режимі та режимі посилення. Польові транзистори працюють в ключовому режимі за схемою КП707В2.

Наступним кроком є спайка схеми та запуск блоку. Неправильно зроблений запуск може спалити більшу частину блоку. Першочергово за допомогою осцилографа на генераторі вимірюють імпульси при виключеній напрузі на котушку L1. Умовою є приблизне співпадіння імпульсів.

Первинне включення блоку подає живлення на лампу по входу блоку й на лампу по виходу блоку. Коли всі елементи блоку підключені правильно і напруги приблизно збігаються, лампу по входу блока замінюють на запобіжник, та включають всі 220 В прямо на блок.

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

Висновки до другого розділу

У другому розділі було розроблено стенд для вимірювання показників крутного моменту електродвигунів, який дозволить проводити більш якісні вимірювання. Щоб досягти ефективнішого та якіснішого вимірювання показників у конструкції пристрою для вимірювання показників крутного моменту датчики були встановлені між підшипниками та корпусом. Такий спосіб встановлення датчиків дозволить отримувати точніші дані та зменшить коефіцієнт похибки. Особливістю конструкції для вимірювання показників крутного моменту є наявність муфти з пазами виконаними під кутом, які розкладають крутне зусилля на радіальне та осьове. Осьове зусилля в свою чергу передається на датчики. Було підібрано та покращено імпульсний блок живлення за рахунок заміни мікросхемою блоку стабілізації на і стабілітроні.

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

3 Аналітичні дослідження процесу зняття показників крутного моменту

3.1 Методика визначення крутного моменту електродвигунів

Велику кількість робіт було присвячено саме пристроям, які вимірюють крутний момент електродвигунів. Проаналізувавши конструктивні особливості приладів для вимірювання крутного моменту електродвигуна, впливає, що увагу було приділяли лише деяким аспектам цього питання. Показання пристроїв для вимірювання крутного моменту електродвигуна є не завжди точними та ефективними. Щоб досягти точніших результатів та вдосконалення даних пристроїв враховують більшу кількість факторів, які здійснюють вплив на процес зняття крутного моменту.

Зробивши аналіз існуючих конструкцій можна описати загальну модель пристрою для вимірювання крутного моменту (рисунок 3.1). Пропонуємо основну методику.

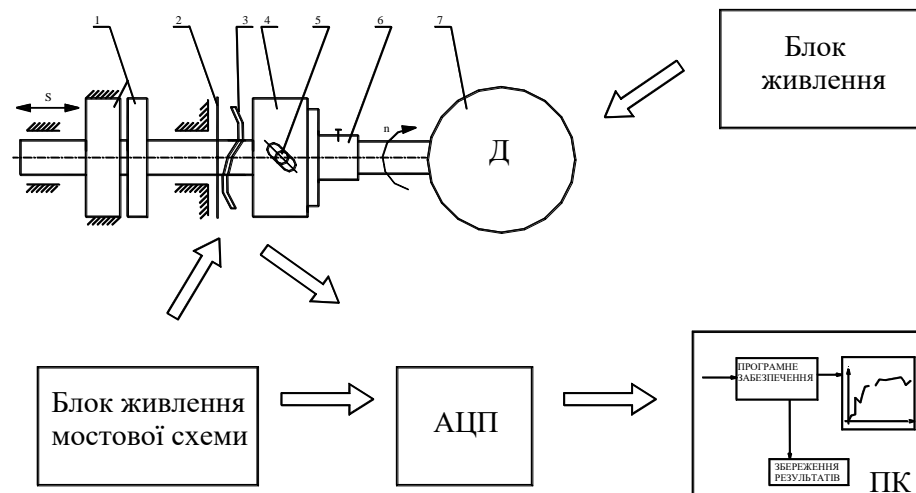


Рисунок 3.1 - Загальна модель

В моделі представлений на рисунку можна враховувати та змінювати:

- геометрію деталі;
- беруть до уваги властивості матеріалу деталі;
- враховуються сили тертя які виникають при взаємодії деталей.

Здійснивши опис загальної моделі здійснюємо її реалізацію в програмному комплексі Impact. Даний програмний комплекс має широкий функціонал та дозволяє вирішувати багато задач. Він розв'язує контактні просторові задачі; задачі на руйнування; задачі формування; частотний аналіз; задачі з великими переміщеннями; розрахунок динамічних моделей з пружних, не пружних і твердих тіл.

Першочергово підготуємо модель. Щоб виконати цей крок та створити вхідний файл для розрахунку використовуємо Pre Processor. У Pre Processor створюється геометричний об'єкт. Відбувається розбивка на сітку. Щоб зробити розрахунками задаємо початкові та граничні умови, властивості матеріалу та параметри для розрахунку. Ці дані зберігаємо у файлі після чого проводимо розрахунок (рис. 3.2).

Processor на другому етапі проводить коректування та розрахунок нашої моделі. Створена модель зберігається у файлі моделі. Саме цей файл моделі бере до розрахунку Processor (рис. 3.3).

3.2 Обчислювальний експеримент для визначення основних параметрів моделі.

Для того, щоб провести обчислювальний експеримент використовуємо програму для пошуку глобального оптимуму [10]. Якщо ми знаємо визначену дію на об'єкт дослідження, то пошук оптимуму можна описати як здобуття бажаної реакції об'єкту на дію прикладену до нього. Об'єкт дослідження володіє функціональними можливостями і має певні властивості. Здійснивши певний вплив на об'єкт ми побачимо його реакції, що буде визначати взаємозв'язок властивостей та функціональних можливостей. Завданням оптимізації є визначення впливу на об'єкт щоб отримати бажану реакцію, за умови що взаємозв'язок між дією і реакцією відомий.

Для того щоб розв'язувати задачі пов'язані з пошуком глобального оптимуму створено нові високоефективні технології нелінійної оптимізації. Нелінійна оптимізація ефективно розв'язує багатопараметричні задачі з необмеженим числом змінних. У якості об'єктів оптимізації виступає математична модель, натурний об'єкт, статистичні дані і ін.

Програма розроблена на платформі мови програмування Java. Її використовують в різноманітних операційних системах. Цей програмний комплекс дозволяє значно скоротити витрати і час їх виконання. Він дає можливість отримувати унікальні технічні рішення за рахунок рішення задач великої розмірності. Традиційні методи оптимізації з такими задачами не справлялись.

Нелінійна оптимізація дозволяє виконувати:

- оптимального проектування як окремих елементів так і систем елементів в цілому;
- оптимального узгодження між собою елементів, що входять до складу системи елементів;

- визначення оптимальних законів управління системами та об'єктами.

Цей спосіб пошуку оптимуму відрізняється від інших високою ефективністю пошуку оптимального рішення коли постає питання дослідженні технічних систем, моделювання яких відбувається на високих рівнях складності. Наведемо декілька прикладів технологій, які успішно застосовується для вирішення проблем:

- отримання найбільш ефективних рішень для технічної системи та її елементів в широкому діапазоні режимів роботи, за рахунок оптимізації моделей систем великої розмірності та забезпечення екстремальності критерію ефективності;

- на основі комплексного критерію «ефективність-ймовірність», «ефективність – вартість» визначення оптимальних проектних рішень;

- для складних пристроїв визначення оптимальних законів управління на різних їх режимах роботи;

- обґрунтування вимог до окремих елементів технічної системи відповідно до рівня технології виробництва;

- для заданого рівня технології виробництва що задано, пошук ймовірності реалізації проектних показників.

Порядок проведення обчислювального експерименту. Відповідно до моделі, яку ми отримали задаємо інтервали варіювання факторів, які розглядаються в даному розрахунку (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Інтервали варіювання факторів

Основні параметри моделі	Мінімальне значення	Максимальне значення
Кут нахилу прорізів β°	20	80
Радіус $R, мм$	20	100
Діаметр штифта $d, мм$	8	20
Сила тертя $f_{тер}, Н$	0.01	0.2
Частота обертання валу $n, об / хв$	0	3000

Таблиця 3.3 – Процес проведення обчислювального експерименту (матриця планування)

X1	X2	X3	X4	X5	Y
1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	250.0
1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	255.0
-1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	113.0
-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	128.0
0.0	0.0	1.0	1.0	0.0	237.0
0.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	212.0
0.0	0.0	-1.0	1.0	0.0	239.0
0.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	241.0
0.0	1.0	0.0	0.0	1.0	233.0
0.0	1.0	0.0	0.0	-1.0	242.0

Продовження таблиці 3.3

0.0	-1.0	0.0	0.0	1.0	237.0
0.0	-1.0	0.0	0.0	-1.0	229.0
1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	201.0
1.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	259.0
-1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	203.0
-1.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	246.0
0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	234.0
0.0	0.0	0.0	1.0	-1.0	232.0
0.0	0.0	0.0	-1.0	1.0	240.0
0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	238.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	239.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	239.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	239.0
0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	227.0
0.0	1.0	-1.0	0.0	0.0	237.0
0.0	-1.0	1.0	0.0	0.0	238.0
0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	243.0
1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	244.0
1.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	243.0
-1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	247.0
-1.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	244.0
0.0	0.0	1.0	0.0	1.0	236.0
0.0	0.0	1.0	0.0	-1.0	232.0
0.0	0.0	-1.0	0.0	1.0	247.0
0.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	246.0
1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	245.0
1.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	243.0

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Продовження таблиці 3.4

20.0	60.0	20.0	0.105000004	1500.0	203.0
20.0	60.0	8.0	0.105000004	1500.0	246.0
50.0	60.0	14.0	0.2	3000.0	234.0
50.0	60.0	14.0	0.2	0.0	232.0
50.0	60.0	14.0	0.01	3000.0	240.0
50.0	60.0	14.0	0.01	0.0	238.0
50.0	60.0	14.0	0.105000004	1500.0	239.0
50.0	60.0	14.0	0.105000004	1500.0	239.0
50.0	60.0	14.0	0.105000004	1500.0	239.0
50.0	100.0	20.0	0.105000004	1500.0	227.0
50.0	100.0	8.0	0.105000004	1500.0	237.0
50.0	20.0	20.0	0.105000004	1500.0	238.0
50.0	20.0	8.0	0.105000004	1500.0	243.0
80.0	60.0	14.0	0.2	1500.0	244.0
80.0	60.0	14.0	0.01	1500.0	243.0
20.0	60.0	14.0	0.2	1500.0	247.0
20.0	60.0	14.0	0.01	1500.0	244.0
50.0	60.0	20.0	0.105000004	3000.0	236.0
50.0	60.0	20.0	0.105000004	0.0	232.0
50.0	60.0	8.0	0.105000004	3000.0	247.0
50.0	60.0	8.0	0.105000004	0.0	246.0
80.0	60.0	14.0	0.105000004	3000.0	245.0
80.0	60.0	14.0	0.105000004	0.0	243.0
20.0	60.0	14.0	0.105000004	3000.0	244.0
20.0	60.0	14.0	0.105000004	0.0	243.0
50.0	100.0	14.0	0.2	1500.0	241.0
50.0	100.0	14.0	0.01	1500.0	236.0

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Кінець таблиці 3.4

50.0	20.0	14.0	0.2	1500.0	238.0
50.0	20.0	14.0	0.01	1500.0	234.0
50.0	60.0	14.0	0.105000004	1500.0	238.0
50.0	60.0	14.0	0.105000004	1500.0	238.0
50.0	60.0	14.0	0.105000004	1500.0	238.0

За результатами проведених обчислень отримуємо наступні коефіцієнти регресії (табл.3.5) та показники дисперсії (табл.3.6)

Таблиця 3.5 - Дані отримані при обчисленні коефіцієнтів регресії.

b_{25}	b_{55}	b_{24}	b_{23}	b_{22}
-4.25	5.89	-4.25	-4.25	-4.25

Таблиця 3.6 - Дані отримані при обчисленні коефіцієнтів дисперсії.

S^2_{bil}	S^2_{bi}	S^2_{bii}	S^2_{b0}	S^2_y
-0.075	0.0187	0.034	0.049	-4.25

Рівняння регресії для даного експерименту матиме наступний вигляд:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{15} X_1 X_5 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{25} X_2 X_5 + b_{34} X_3 X_4 + b_{35} X_3 X_5 + b_{45} X_4 X_5 + b_{11} X_{12} + b_{22} X_{22} + b_{33} X_{32} + b_{44} X_{42} + b_{55} X_{52}$$

де y - це допустимі напруження при контакті.

3.3 Оптимізація обчислюваних даних

З метою оптимізації рівняння допустимих напружень при контакті була створено наступну модель.

PlanningExperiment for OptimizationModel

Created: Fri Sept 27 00:44:40 EEST 2024

Optimization Model & Planning Experiment

```
public class moment extends OptimizationModelObject{
```

```
private float[][] interval_x = { - задано інтервали вхідних параметрів;
```

```
{ 20.0f, 80.0f},
```

```
{ 20.0f, 100.0f},
```

```
{ 8.0f, 20.0f},
```

```
{ 0.01f, 0.2f},
```

```
{ 0.0f, 3000.0f},
```

```
public float[][] get_interval(){ return interval_x; } – здійснюється повернення масиву вхідних параметрів;
```

```
public float[][] get_interval(){ return interval_x; } – повернення значення дискретизації області вхідних даних;
```

```
public int get_digitization_values(){ return 100; } – повернення значення дискретизації області значень;
```

```
public float get_precision(){ return 0.001f; } - повернення значення відносної точності;
```

```
Минимум = -Double.MAX_VALUE - повернення значення критерію оптимізації;
```

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

Максимум = Double.MAX_VALUE

public boolean is_debug(){return false;} – здійснюється виведення отриманих результатів на екран;

public double function(double[] X){ - здійснюється описання моделі та повернення значення параметрів оптимізації;

```
double y=238.5+17.0*(X[0]-50.0)/30.0 -1.4*(X[1]-60.0)/40.0-10.75*(X[2]-14.0)/6.0+1.5*(X[3]-0.1)/0.095+0.68*(X[4]-1500.0)/1500.0+2.5*(X[0]-50.0)*(X[1]-60.0)/40.0-3.75*(X[0]-50.0)/30.0*(X[2]-14.0)/6.0 -0.5*(X[0]-50.0)/30.0*(X[3]-0.1)/0.095+0.25*(X[0]-50.0)/30.0*(X[4]-1500.0)/1500.0-1.25*(X[1]-60.0)/40.0*(X[2]-14.0)/6.0+0.25*(X[1]-60.0)/40.0*(X[3]-0.1)/0.095-4.25*(X[1]-60.0)/40.0*(X[4]-1500.0)/1500.0+6.75*(X[2]-14.0)/6.0*(X[3]-0.1)/0.095+0.75*(X[2]-14.0)/6.0*(X[4]-1500.0)/1500.0+0.0*(X[3]-0.1)/0.095*(X[4]-1500.0)/1500.0-11.8*Math.pow((X[0]-50.0)/30.0,2)-14.1*Math.pow((X[1]-60.0)/40.0,2) -0.52*Math.pow((X[2]-14.0)/6.0,2) + 4.14*Math.pow((X[3]-0.1)/0.095,2) + 5.89*Math.pow((X[4]-1500.0)/1500.0,2);
```

Проходження процесу оптимізації:

Start optimization ***

Fri Sept 27 00:47:06 EEST 2024

Number of processors/thread: 2/4

Loading model: moment

Thread: 1-256 (time: 93) Y(X1, ..., Xn) = 200.00519159145765

Thread: 513-768 (time: 63) Y(X1, ..., Xn) = 200.00519159145765

Thread: 769-1024 (time: 112) Y(X1, ..., Xn) = 200.00519159145765

Thread: 257-512 (time: 139) Y(X1, ..., Xn) = 200.00903939463572

Solver: AAQM

Solving time (hh:mm:ss) 00:00:00 (total: 139 ms)

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

Matrix of parameters of model

X1 = 20.0 ... 80.0

X2 = 20.0 ... 100.0

X3 = 8.0 ... 20.0

X4 = 0.01 ... 0.2

X5 = 0.0 ... 3000.0

Optimal Result for $Y(X_1, \dots, X_n) = 200.00519159145765$

X1 = 39.1 X2 = 100.0 X3 = 20.0 X4 = 0.009999999776482582

X5 = 1052.5

*** End optimization ***

*** Start optimization ***

Fri Sept 27 00:47:06 EEST 2024

Number of processors/thread: 2/4

Loading model: moment

Thread: 513-768 (time: 157) $Y(X_1, \dots, X_n) = 202.1218933669222$

Thread: 1-256 (time: 204) $Y(X_1, \dots, X_n) = 202.1218933669222$

Thread: 257-512 (time: 208) $Y(X_1, \dots, X_n) = 209.48324386288797$

Thread: 769-1024 (time: 151) $Y(X_1, \dots, X_n) = 202.1218933669222$

Solver: AAM

Solving time (hh:mm:ss) 00:00:00 (total: 208 ms)

Matrix of parameters of model

X1 = 20.0 ... 80.0

X2 = 20.0 ... 100.0

X3 = 8.0 ... 20.0

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

X4 = 0.01 ... 0.2
X5 = 0.0 ... 3000.0

Optimal Result for $Y(X_1, \dots, X_n) = 202.1218933669222$

X1 = 38.1625 X2 = 100.0 X3 = 20.0 X4 = 0.06798958036233671
X5 = 2915.625

*** End optimization ***

*** Start optimization ***

Fri Sept 27 00:47:07 EEST 2024

Number of processors/thread: 2/4

Loading model: moment

Thread: 1-256 (time: 2056) $Y(X_1, \dots, X_n) = 200.03772896989938$

Thread: 513-768 (time: 2054) $Y(X_1, \dots, X_n) = 200.03772896989938$

Thread: 257-512 (time: 2139) $Y(X_1, \dots, X_n) = 200.03772896989938$

Thread: 769-1024 (time: 2145) $Y(X_1, \dots, X_n) = 200.03772896989938$

Solver: GZM

Solving time (hh:mm:ss) 00:00:02 (total: 2145 ms)

Matrix of parameters of model

X1 = 20.0 ... 80.0
X2 = 20.0 ... 100.0
X3 = 8.0 ... 20.0
X4 = 0.01 ... 0.2
X5 = 0.0 ... 3000.0

Optimal Result for $Y(X_1, \dots, X_n) = 200.03772896989938$

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

X1 = 22.400000000000006 X2 = 99.600000000000035 X3 =
19.999999999999982 X4 = 0.19430000288411975 X5 = 2775.0

*** End optimization ***

Результати отримані методом оптимізації вводимо в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати оптимізації

Основні параметри моделі	Оптимальне значення
Кут нахилу прорізів β°	39.1
Радіус $R, мм$	100
Діаметр штифта $d, мм$	200
Сила тертя $f_{тер}, Н$	0.01
Частота обертання валу $n, об / хв$	3000

3.4 Розрахунок тензометричного моста постійного струму

Електричний пристрій яким вимірюють опір, індуктивність, ємність називається вимірювальний міст. Дія мосту базується на основі методу порівнянь вимірюваних величин з відомою зразковою мірою. Міст представляє собою вимірювальний мостовий ланцюг. Причиною широкого поширення мостів стало те, що вони дають точні результати. Тому метод порівняння застосовують як в лабораторній, так і у виробничій практиках.

На рисунку 3.5 зображено схему простого мосту постійного струму для виміру активних опорів (міст Уїтстона). Робота мосту заключається в тому, що на входи А і С (діагональ живлення) подають напругу живлення, а до виходів В і D (вимірювальна діагональ) підключають нуль-індикатор або

вимірювальний прилад. Щоб досягти рівності потенціалів в точках С і D необхідно змінити величину одного або декількох опорів в плечах моста.

Відсутність струму в вимірювальній діагоналі означає момент встановлення рівноваги. Це відображається на нулю-індикаторі. Коли міст переходить в стан рівноваги він стає урівноваженим. З допомогою правил Кірхгофа визначаємо умови, за якими міст перейде в стан рівноваги.

За умовами першого правила, сума струмів, які сходяться до однієї точки (вузла) ланцюга є рівна нулю:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0 \quad (3.1)$$

Вважаємо, що струми, які входять у вузол є позитивними. Струми, що виходять є відповідно негативними. Тоді відповідно для вузлів В і D:

$$I_1 - I_2 - I_{ind} = 0; \quad (3.2)$$

$$I_4 - I_3 + I_{ind} = 0. \quad (3.3)$$

Беремо до уваги, що струм врівноваженого моста $I_{ind} = 0$ та отримуємо з попередньої рівності що:

$$I_1 = I_2; \quad (3.4)$$

$$I_4 = I_3.$$

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

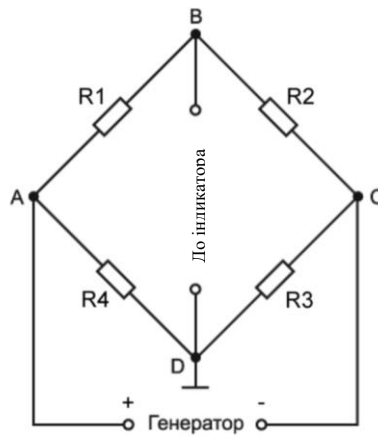


Рисунок 3.5 - Мостова схема Уїтстона

Друге правило Кірхгофа говорить що для будь-якого замкнутого контуру проводів алгебраїчна сума електрорушійних сил дорівнює алгебраїчній сумі добутків сил струму на кожній ділянці контуру на опір ділянки, враховуючи внутрішній опір джерел струму. У нашому випадку формула буде виглядати так:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = 0 \quad (3.5)$$

Використаємо друге правило Кірхгофа до контурів ABD і BCD. Напрямок обходу контура визначимо за годинниковою стрілкою. Відповідно напрямки струмів котрі не співпадають з основним напрямком із знаком «-». Для контура ABD отримаємо формулу:

$$I_1 R_1 + I_{інд} R_{інд} - I_4 R_4 = 0 \quad (3.6)$$

Для контуру BCD відповідно:

$$I_2 R_2 - I_4 R_4 - I_{\text{інд}} R_{\text{інд}} = 0 \quad (3.7)$$

Відомо, що струм врівноваженого моста рівний нулю $I_{\text{інд}} = 0$. Беручи до уваги ці дані рівняння зведуться до наступних:

$$I_1 R_1 = I_4 R_4; \quad (3.8)$$

$$I_2 R_2 = I_4 R_4. \quad (3.9)$$

Поділивши рівність 3.8 на 3.9 з урахування отриманих раніше рівностей, маємо відношення:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}. \quad (3.10)$$

Для того щоб зробити вимірювання опору його необхідно включити в плечі моста. Це може бути будь-яке плече, наприклад R_1 . Взявши ці дані до уваги отримуємо величину вимірюваного опору:

$$R_1 = \frac{R_2 R_4}{R_3}. \quad (3.11)$$

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

На точність вимірювання величини R_1 впливає точність опорів R_2 , опорів які калібруються, R_3 , R_4 і чутливість нуля-індикатора. Зображений на рисунку 3.5 чотирьохплечовий одинарний міст використовують для вимірювання електричних опорів $R > 1$ Ом. Для одинарних мостів опорів $R < 1$ Ом на показники результату виміру значною мірою впливає опір в місцях сполучення дротів та контактів. Цей вплив заключається в тому, що величини цих опорів сумуються з величиною опору який ми вимірюємо.

Проблему виміру опорів від 1 мкОм до 1 Ом вирішує застосування подвійних або багатоплечових мостів. Комбіновані одинарно-подвійні мости здійснюють вимірювання опору в діапазоні від 1 мкОм -1 МОм з погрішністю порядку 0,002%.

Мостову схему Уїтстона можна використовувати в режимі незбалансованого моста. Якщо в одне з плечей незбалансованого моста підключити датчик, то в результаті вийде система розугодження. Система розугодження дозволяє визначити напругу у вимірювальній діагоналі моста. За наступним співвідношенням визначаємо вихідну напругу моста:

$$U_{ind} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_4 + R_3} \right) U_{ген}. \quad (3.12)$$

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

Зробимо розрахунок вихідної напруги беручи до уваги зміщення балансу моста на 10%. Коли міст був збалансований, то опір резисторів становив 200 Ом. Коли відбулось зміщення балансу на 10% отримуємо величини опорів $R_1=220\text{Ом}$, $R_2=180\text{ Ом}$, $R_3=180\text{ Ом}$, $R_4=220\text{Ом}$.

Відповідно напруга буде рівною:

$$U_{\text{ind}} = \left(\frac{220}{180 + 220} - \frac{180}{220 + 180} \right) U_{\text{gen}} = 0.1V$$

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

Висновки до третього розділу

У третьому розділі було проведено розрахунки параметрів моделі пристрою для вимірювання крутного моменту використовуючи програмний комплекс Impact, який дозволив побачити як розподіляються навантаження, відбувається зміна деформацій та напружень в моделі. Використавши програму для пошуку глобального пошуку оптимуму провели обчислювальний експеримент та отримали результати оптимуму для нашої моделі, які зведено у таблицю. У розрахунках тензOMETричного мосту для нашої моделі отримали значення вихідної напруги 0.1В.

Розроблена модель стенду може використовуватись для вимірювання показників крутного моменту для різних типів електродвигунів побутової техніки з потужностями електродвигунів в діапазоні 100 -750 Вт, та в межах допустимих значень напружень контакту.

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

Висновки

В представленій магістерській роботі проаналізовано існуючі пристрої для вимірювання крутного моменту валу. Було визначено способи передачі інформації з обертового валу до пристрою реєстрації.

Для того щоб виміряти показники крутного моменту валу електродвигунів побутової техніки в технологічній частині роботи розроблено стенд. Для цього стенду провели обчислювальний експеримент в ході якого визначили основні параметри моделі і було здійснено розрахунки з оптимізації моделі.

Розроблена модель стенду може використовуватись для вимірювання показників крутного моменту для різних типів електродвигунів побутової техніки з потужностями електродвигунів в діапазоні 100 -750 Вт, та в межах допустимих значень напружень контакту.

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

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Пристрій для вимірювання величини крутного моменту: пат. 52275 Україна, МПК G01L 5/00, G01L 5/24. № UA 52275; заявл. 02.04.2002; опубл. 16.12.2002, Бюл. № 12.
2. Пристрій для визначення крутного моменту, що передається валом відбору потужності: пат. 115842 Україна, МПК G01L3/10. № u 201612290; заявл. 02.12.2016; опубл. 25.04.2017.
3. Пристрій для виміру крутного моменту на обертовому валу з мінливою частотою: пат. 72893 Україна, МПК G01L 3/10. № u 2012 04090; заявл. 03.04.2012; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 11.
4. Карнаух С. Г., Таровик М. Г. Деталі машин: курс лекцій (для студентів технічних спеціальностей) / С. Г. Карнаух, М. Г. Таровик – Краматорськ: ДДМА, 2017. – 226 с.
5. Малащенко В.О., Янків В.В. Деталі машин, проектування елементів механічних приводів: Навчальний посібник (рек. МОН України) / В.О. Малащенко, В.В. Янків – Львів: Видавництво Новий Світ-2000, 2023. – 264 с.
6. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М. Прикладна механіка: Підручник / В.М. Булгаков, В.В. Адамчук, О.М. Черниш, М.Г. Березовий, Г.М. Калетнік – Київ: Видавництво Центр учбової літератури, 2022. – 906 с.
7. Куценко А. Г., Бондар М. М., Чаусов М. Г., Пилипенко А. П. Прикладна механіка (опір матеріалів): Книга / А. Г. Куценко, М. М. Бондар, М. Г. Чаусов, А. П. Пилипенко – Київ: Видавництво Центр навчальної літератури, 2019, - 736 с.
8. Мархель І. І. Деталі машин: Навчальний посібник / І.І. Мархель – Київ: Видавництво Алерта, 2016. – 368 с.

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

9. Мотигін В.В., Павлов С. М. Планування експерименту в інженерних дослідженнях (лабораторний практикум): Навчальний посібник / В.В. Мотигін, С. М. Павлов – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 82 с.

10. Нечаєв В.П., Берідзе Т.М., Кононенко В.В., Рябушенко Н.В., Брадул О.М. Теорія планування експерименту: Книга / В.П. Нечаєв, Т.М. Берідзе, В.В.Кононенко, Н.В. Рябушенко, О.М.Брадул – Київ: Видавництво Кондор, 2009. – 232 с.

11. Жалдак М.І., Триус Ю.В. Основи теорії і методів оптимізації: Навчальний посібник / М.І. Жалдак, Ю.В. Триус - Черкаси: Брама-Україна, 2005. - 608 с.

12. Сікора Я. Б., Щехорський А.Й., Якимчук Б.Л. Методи оптимізації та дослідження операцій [Текст]: навчальний посібник / Я. Б. Сікора, А.Й. Щехорський, Б.Л. Якимчук – Житомир: Видавництво ЖДУ ім. Івана Франка, 2019. – 148 с.

13. Тимошенко А. Г., Павленко В. І., Корольов М. Є., Савина О. В. Дослідження операцій і методи оптимізації: Книга / А. Г. Тимошенко, В. І.Павленко, М. Є. Королєв, О. В Савина – Київ: Видавництво Університет "Україна", 2007. – 177 с.

15. Програмний комплекс Impact [Електронний ресурс].

http://impact.sourceforge.net/index_ua.html

16.Отимізація моделі [Електронний ресурс].

http://mdop.sourceforge.net/index_ua.html

17. Конспект лекцій з курсу «Планування і обробка результатів експерименту» (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. унт міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова : уклад.: Л. А. Назаренко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 163 с.

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

ДОДАТКИ

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