

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

### Розробка стенду для дослідження побутової кутошліфувальної машини

Галузь знань 14 Електрична інженерія  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

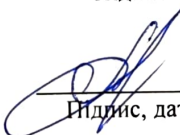
Шифр БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
3 курсу групи ЕТс-20-2

  
Підпис

Дрегало О.О.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.  
Ініціали, прізвище

20 06 2023 р.

Хмельницький 2023

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

20.06.2023

## ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ **Дрегалю Олександр Олегович** Прізвище, ім'я, по батькові студента

- Тема роботи **Розробка** стенду для дослідження побутової кутошліфувальної машини  
керівник роботи **Поліщук О.С., д.т.н, професор**  
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання  
Затверджено наказом ректора університету від 1 03 2023 р. № 5
- Строк подання студентом роботи на кафедру 20.06.23 р.
- Вихідні дані до роботи: **технічні характеристики побутових кутошліфувальних машин**
- Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
  - Огляд кутошліфувальних машин та способи їх дослідження
  - Розробка стенду для дослідження кутошліфувальної машини
  - Розрахунки, що підтверджують працездатність стенду для дослідження кутошліфувальної машини
- Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
  - Аркуш 1. Навантажувальні пристрої. Док. оглядовий (A1). Аркуш 2. Блок керування побутовою КШМ. Вид загальний (A1). Аркуш 3. Стенд для дослідження КШМ. Схема структурна (A1). Аркуш 4. Стенд для дослідження КШМ. Схема електрична принципова (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


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

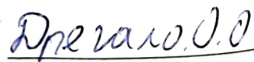
7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1 Огляд кутошліфувальних машин та способи їх дослідження	06.06.23р.	
2 Розробка стенду для дослідження кутошліфувальної машини	11.06.23р.	
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність стенду для дослідження кутошліфувальної машини	21.06.23р.	

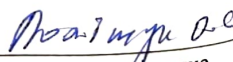
Студент

  
Підпис

  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові **Дрегалю Олександр Олегович**

---

2. Тема бакалаврської роботи

**Розробка стенду для дослідження побутової кутошліфувальної машини**

---

---

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

---

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 4 арк., сторінок записки 64

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки:

**1 Огляд кутошліфувальних машин та способи їх дослідження**

**2 Розробка стенду для дослідження кутошліфувальної машини**

**3 Розрахунки, що підтверджують працездатність стенду для дослідження кутошліфувальної машини**

**Висновки**

**Перелік джерел посилання**

---

---

---

---

Підпис студента



"26" 06 2023 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 12 від "28" 06 2023 р.

Оцінка проекту ЕК

добре 4.0/5

Рекомендації ЕК

в навчальний процес

---

---

Особливі відмітки \_\_\_\_\_




Технічний секретар



"28" 06 2023 р.

## ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Огляд кутошліфувальних машин та способи їх дослідження	7
1.1 Огляд ринку електроінструменту на Україні	7
1.2 Загальні відомості про кутошліфувальну машину	13
1.3 Аналітичний огляд засобів, методів навантаження КШМ та вимірювання моменту	19
1.4 Висновки до першого розділу	32
2 Розробка стенду для дослідження кутошліфувальної машини	33
2.1 Розробка структурної схеми стенду для дослідження кутошліфувальної машини	33
2.2 Розробка електричної принципової схеми вузла керування	34
2.3 Розробка функціональної схеми електронного тахометра	42
2.4 Розробка електричної принципової схеми електронного тахометра	44
2.5 Розробка електричної принципової схеми стенду для дослідження кутошліфувальної машини	46
2.6 Розробка конструкції стенду для дослідження кутошліфувальної машини	48
2.7 Висновки до другого розділу	49
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність стенду для дослідження кутошліфувальної машини	50
3.1 Розрахунок електричного кола світлодіода	50
3.2 Розрахунок тензометричного моста	51

БРМА23.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка стенду для дослідження побутової кутошліфувальної машини	Літера	Арквш	Арквшів
Виконав		Дрегалю						
Перевір.		Поліщук					4	64
Н.контр. Затвер.		ПЧУДИК.СІ Поліщук				ХНУ гр.ЕТс-20-2		

3.3	Розрахунок загальної потужності споживання стендом	52
3.4	Розрахунок дільника напруги	53
3.5	Розрахунок розмірів вимірювальної балки	54
3.6	Розрахунок джерела живлення схеми	57
3.7	Висновки до третього розділу	60
	Висновки	61
	Перелік джерел посилання	62
	Додаток А	

## ВСТУП

Ринок електроінструментів в Україні на сьогоднішній день є перспективним і швидко розвивається. Темпи зростання ринку становлять близько 7% щорічно. Такі високі темпи зростання забезпечуються переважно з допомогою імпорту продукції. На ринку електроінструментів України на 99,7% займають товари, які привезені з інших країн, в основному з Китаю. Внутрішнє виробництво є тільки у сегменті зварювальних апаратів (інверторні, напівавтоматичні) [1].

Електроінструмент є спеціальним інструментом, що виконує конкретну функцію і приводиться в дію за допомогою електричного джерела живлення. Як правило, такі інструменти виконані із міцного пластику, всередині якого розміщений електродвигун.

Згадані електричні інструменти мають велику популярність, тому що сфера їх використання дуже широка, а також у них є свої переваги за швидкістю та якістю обробки. Однак такі прилади досить вимогливі до пожежо- та електробезпеки. У зв'язку з цим дуже важливо регулярно проводити такий захід як перевірка випробування ручного електроінструменту.

Сучасне машинобудування неможливо уявити без застосування нових технологій, розробки перспективного інструменту, запровадження новітнього устаткування. За кожною цією гілкою лежать глибокі наукові розробки та неодноразові досліди та дослідження.

Тому тема бакалаврської роботи направлена на розробку стенду для дослідження електроінструменту, а саме кутошліфувальних машин (КШМ) є актуальною.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

# 1 ОГЛЯД КУТОШЛІФУВАЛЬНИХ МАШИН ТА СПОСОБИ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Огляд ринку електроінструменту на Україні

### 1.1.1 Класифікація електроінструменту

Асортимент електроінструменту різноманітний. Класифікувати його можна за різними ознаками:

- за сферою застосування (промисловий, важко навантажений, професійний та побутовий);

- за класом електробезпеки.

Найпоширеніша класифікація - за призначенням:

- для висвердлювання різних отворів та виконання різьблення - дрилі, шуруповерти, перфоратори, відбійні молотки та різьбрізи;

- для робіт з обробки дерева (стругання, пиляння, шліфування) – болгарка, лобзик, рубанок, різноманітні пили, фрезери;

- для затирання поверхонь – напилки, штроборізи, шліфо-полірувальні машини, рубанки;

- допоміжні, доповнюючі - будівельні фени, міксери, пирососи, пістолети для паяння та ін. [2].

Обсяг ринку електроінструменту у світі оцінюється у 30 млрд доларів. За прогнозами агентства Markets&Markets до 2025 року він досягне 37 млрд доларів з очікуваним середньорічним темпом зростання 4,6%. До ключових факторів, що сприяють зростанню ринку, можна віднести:

- зростання використання акумуляторних електроінструментів - попит більш мобільні, гнучкі і компактні інструменти стимулює ринок загалом;

- зростання попиту на техніку для «побутового споживача» - DIY;

- розвиток будівельної галузі в країнах з економікою, що розвивається.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.1.2 Основні виробники електроінструменту

Розмір світового ринку електроінструментів оцінювався у 25,87 млрд доларів у 2021 році. Прогнозується, що ринок зросте з 26,61 млрд. доларів у 2023 році до 35,13 млрд. доларів США до 2029 року, демонструючи середньорічний темп зростання в 4,0% протягом прогнозованого періоду.

Очікується, що світовий ринок значно зросте у прогнозований період завдяки впровадженню бездротового обладнання. Більш того, очікується, що акумуляторний інструмент розвиватиметься, збільшуючи години автономної роботи. Однак такі фактори, як високі витрати на технічне обслуговування (закупівля комплектуючих), оснащення та коливання цін на сировину стримують зростання ринку.

Програмне забезпечення для електроінструменту. Виробники електроінструментів сьогодні активно пропонують зосередити увагу на інтелектуальному підключенні електроінструментів. Якщо переглянути переможців премії РТІА («Оскар» серед професійного промислового інструменту, ми писали про неї раніше), то сумнівів не залишається – більшість не те, щоб переможців, а просто учасників пропонують синхронізацію та управління інструментом віддалено – з додатками на смартфоні та ПК.

На українському ринку представлені десятки всесвітньо відомих брендів електроінструменту та ще сотні тих, хто тільки починає набирати популярності. Найбільш популярними є: Bosch, Makita, DeWalt, Metabo, Hilti та інші.

Bosch представлений практично в кожній категорії електроінструментів. Це компанія, яка винайшла та випустила перший у світі акумуляторний електроперфоратор. В українських магазинах можна знайти все, від кутошліфувальних машин (КШМ) та до термофенів Bosch. До того ж

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

вибір завжди більший, ніж у інших виробників. В Україні представлено дві серії:

- home master (зелена) – базова для дому. Потужність менша ніж у професійної, обмежена у функціональності, але якісна;

- professional (синя) - для щоденної експлуатації, більш висока вартість, більша функціональність, з регульованими характеристиками.

У німців великий модельний ряд, що дозволяє підібрати варіант із оптимальними характеристиками під будь-які вимоги.

Загальний вигляд кутошліфувальної машини Bosch приведено на рис. 1.1 [3].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд кутошліфувальної машини Bosch 1772-6

Японський бренд Makita за популярністю, знаходиться на одній позиції з «німцями». Пропонує все, від кутошліфувальних пилок до шуруповертів, але модельний ряд і кількість позицій трохи менше, ніж у Bosch. Якість така ж, але ціна трохи дешевша - для порівняння каталог Makita. У цьому його перевага.

- Makita MT (помаранчева) – бюджетна серія для домашнього ремонту. Відрізняється низькою ціною та середньою продуктивністю. Не розрахована на щоденне застосування, оскільки позбавлена захисту від перегріву та додаткових функцій;

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- Makita LXT (зелена) – напівпрофесійна для щоденного користування. Характеризується наявністю ряду додаткових функцій та регулювань, які відсутні у серії MT.

В Україні одні з перших з'явилися безщіткові шуруповерти Makita, що можна вважати великою перевагою. Вони працюють без щіток, тому не потребують обслуговування. Безщіткові шуруповерти потужніші, довговічніші та енергоефективніші.

Загальний вигляд кутошліфувальної машини Makita приведено на рис. 1.2 [4].



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд кутошліфувальної машини Makita GA4030

Американська компанія DeWalt, яка не має бюджетного сегменту. Весь асортимент призначений для щоденної експлуатації, тому і коштує дорожче за більшість «китайців». Модельний ряд не такий великий, як у двох попередніх брендів, але вища якість.

DeWalt більше орієнтується на Америку та Західну Європу, тому у нас не дуже розкручений. На даний момент не можна сказати, що він дуже популярний серед українців, проте вже встиг заслужити на хорошу репутацію.

Загальний вигляд кутошліфувальної машини DaWolt приведено на рис. 1.3 [5].

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд кутошліфувальної машини  
DeWalt DWE4238

Ще одна американська компанія Black & Decker, яка займає частину бюджетного сегменту ринку нашої країни. За ціною нижче трьох попередніх брендів, але не поступається надійністю. Низька вартість була досягнута за рахунок спрощення конструкції, тому відсутня захист від перегріву. Оптимальний варіант для нечастого застосування.

Асортимент невеликий, модельний ряд теж бідний, тому що для домашніх цілей не потрібний великий діапазон характеристик.

Загальний вигляд кутошліфувальної машини Black & Decker приведено на рис. 1.4 [6].



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд кутошліфувальної машини  
Black & Decker Beg120-QS

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Німецький бренд Metabo, досить відомий у Європі. Минулого року частка експорту Metabo становила 80%. В Україні він лише починає набирати популярності, це пов'язано з тим, що «німці» більше орієнтуються на Центральну та Західну Європу.

Технологічні переваги полягають у високій потужності та ергономічній формі. Головний розрахунок йде на професійне застосування, проте конструктори попрацювали над компактністю та зручністю форми.

Вектор виробництва заточений на обладнання для будівництва та металообробки. Metabo випускає найкращі акумуляторні інструменти, в 2013 році завдяки власне розробленій технології Ultra-M було випущено найпотужнішу у світі АКБ на 5,2 А\*год. Ця подія стала проривом у виробництві автономних інструментів, і зараз Metabo стоїть біля джерел концепції «будмайданчик без кабелів».

Загальний вигляд кутошліфувальної машини Metabo приведено на рис. 1.5 [7].



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд кутошліфувальної машини  
Metabo 603624420 WP

Компанія родом із Ліхтенштейну Hilti, але зараз це один із світових лідерів, який заробив відмінну репутацію за рахунок високих стандартів якості. Hilti - один із найдорожчих на українському ринку.

Люксембурзький бренд випускає перфоратори, дрилі, кутошліфувальні машини, відбійні молотки, а також розхідники до них. Крім того, в

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

асортименті широко представлені акумуляторні інструменти, обладнання для різання, розпилу та шліфування.

Загальний вигляд кутошліфувальної машини Hilti приведено на рис. 1.6 [8].



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд кутошліфувальної машини  
Hilti AG 180-P

## 1.2 Загальні відомості про кутошліфувальну машину

Кутова шліфувальна машина - це пристрій, призначений для обробки внутрішніх кутів та стиків різноманітних площин. У класичному вигляді модуль обладнується спеціалізованим абразивним диском, здатним знімати верхні шари металевих, дерев'яних або, наприклад, цегляних поверхонь (рис.1.7) [9].



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд кутошліфувальної машини

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Конструкція передбачає можливість фіксації інших кіл - відрізних, обдирних, полірувальних, пелюсткових та навіть заточувальних. Таким чином, ручний блок при необхідності замінює лобзик, точило і шабельну пилку одночасно.

Завдань, які вирішуються за допомогою сучасних КШМ, посправжньому багато. Одні апарати добре справляються із процесом різання металу, інші демонструють свої переваги при очищенні стін від старих лакофарбових покриттів. Тому фахівці заводів-виробників створили унікальну систему класифікації, що дозволила поділити конструкції, що розглядаються, на групи в залежності від ключових технічних і експлуатаційних характеристик.

Міні-формат. Компактна версія виробу, що має цілий перелік різнокаліберних і надзвичайно важливих переваг. Головні форм-фактори – коло з діаметром до 125 мм та відсутність бічної ручки. Дозволяє здійснювати операції за умов різко обмеженого вільного простору.

Оптимальна вага не втомлює руку, тому працювати виходить досить довго та гранично ефективно. Зважаючи на невелику потужність (до 1 кВт) не потребує редуктора, що позитивно позначається на об'ємі та темпі вібрацій, що видаються [9].

Велика. Інструмент, що повністю відповідає на питання про те, для чого використовується і застосовується КШМ. Оснащена протекційним щитком, а також фіксатором для кріплення кіл на 230 мм. Позиції рукоятки можна змінювати, встановлюючи їх у ті чи інші опціональні розташування. Живлення від загальної електромережі зі стандартними показниками частоти та напруги, від звичайного шнура.

Нерідко відіграє роль штроборізу - досить висока потужність гарантує якісний результат у вигляді рівних канавок. Здатна різати прокат, за наявності відповідного рішення такого завдання диска.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Бездротова. Ще один міні-формат тільки з живленням не від електромережі, а від акумуляторної батареї. Робочий вузол конструкції особливих змін не передбачає - точка для фіксації кола, ручка, що легко прокручується і т.п. З тилового боку присутні роз'єми для встановлення і підключення АКБ певної ємності.

Дозволяє досягти точного різання, причому незалежно від характеристик міцності базового матеріалу. Легко справляється з операціями з обробки граніту або чавуну.

Пряма. Модель з унікальним і гранично характерним зовнішнім виглядом. Основний робочий орган стає продовженням корпусу, через що агрегат набуває довгастої форми. Додаткова ручка, звичайно ж, відсутня. Передбачається, що майстер проводитиме дії однією рукою — друга необхідна для виправлення, спрямування чи підтримки матеріалу.

Головне призначення пристрою – виконання профільних операцій у важкодоступних місцях або умовах сильно обмеженого вільного простору. Дозволяє застосовувати не лише звичайні диски, а й спеціалізовані циліндричні чи конічні насадки.

Пневматична. Призначення кутової шліфувальної машини може бути різним - апарати різних модифікацій справляються з безліччю завдань, що виникають як у професійних будівельників, так і у звичайних людей, які взялися, наприклад, за самостійний ремонт. До найнезвичайніших версій УШМ належить пневматика - вона функціонує завдяки стиснутому повітрі, що подається на робочий орган [9].

Протекційний щиток, додаткова рукоятка, вузол для кріплення різнокаліберних кіл - зовнішній вигляд конструкції від класичних аналогів практично не відрізняється. Однак вона здатна прослужити набагато довше, за рахунок герметичного та гранично міцного корпусу.

Безщіткова. Щітки – це знімні електричні контакти ковзного типу. Вони присутні всередині практично будь-якого сучасного електротехнічного

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

обладнання: від асинхронних силових машин до електродрилів. Через систематичні динамічні навантаження деталі регулярно виходять з ладу, змушуючи користувача піклуватися про їхню грамотну і своєчасну заміну.

Нещодавно виробниками були виготовлені перші моделі кутових шліфувальних машин, що функціонують без представлених елементів. Вони здатні працювати в максимально ненормованих умовах - при сильно запиленому повітрі або в пожежонебезпечному середовищі.

Конструктивні особливості інструменту.

Кутошліфувальний агрегат - це досить простий у технічному плані пристрій, працездатність якого забезпечується обмеженою кількістю вузлів:

- електричний двигун;
- продуктивна система вентиляції;
- механічний редуктор-перетворювач;
- шпindel для фіксації дисків;
- протекційний кожух;
- рукоятка з поглинаючого вібрації матеріалу;
- щонайменше метровий кабель зі штепселем.

Кутошліфувальні машини найчастіше застосовуються для остаточної обробки різного виду поверхонь. Крім того, КШМ бувають як пневматичні, так і, що приводяться в рух безпосередньо від двигуна.

КШМ також підрозділяються по типу конструкції й призначенню. По призначенню бувають відрізні варіанти, а також золотошвейні. Конструктивно цей інструмент ділиться на кутошліфувальні машинки; прямі й стрічкові КШМ.

КШМ одержали найбільше визнання й популярність. Такі машини використовуються як для шліфування, так і в якості відрізних, завдяки широкому спектру видаткових матеріалів (кіл). Частота обертання КШМ коливається в межах від 6 до 12 тисяч обертів у хвилину. Деякі моделі ,

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

мають регулятор частоти обертання, що робить інструмент ще більш універсальним.

КШМ - один з найпоширеніших інструментів при будівництві і ремонті. Їх назва цілком логічна: кутові - тому що вісь обертання робочого інструменту (круга) перпендикулярна осі обертання двигуна, шліфувальні, - тому що призначені для шліфування поверхонь [9]. Втім, правильніше їх називати шліфувально-відрізними, оскільки часто вони використовуються саме для різання твердих матеріалів - металу, каменя, бетону і т.п.

Крім того, КШМ застосовуються для заточування інструментів, і успішно справляються з цим завданням. Зараз КШМ стали незамінним інструментом майже в кожному будинку, проте в побуті цей інструмент частіше називають «болгаркою» - на згадку про перші КШМ під торговою маркою Sparky, привезених до Росії з Болгарії.

КШМ випускаються з однією або двома рукоятками (однорукими або дворукими). Обидва ці варіанти можуть бути оснащені додатковою рукояткою, що переставляється. У деяких моделях КШМ рукоятки володіють здатністю поглинати вібрацію, що забезпечує максимальний комфорт при роботі.

Сучасні моделі КШМ оснащені системою «м'якого пуску», що обмежує пусковий струм до 16 А. Це дозволяє підключати інструменти до побутової електромережі без збитку для неї. Деякі КШМ оснащені системою підтримки постійного числа оборотів, яка забезпечує оптимальний режим роботи незалежно від зусилля, що додається.

При виборі кутшліфувальної машини найважливіше – визначити, для яких цілей вона буде використовуватися. Щоб розрізати камінь або бетон, буде потрібно машина потужністю близько 2000 Вт, і швидкістю обертання від 6000 об/хв. Більш прості моделі, з потужністю 600-1000 Вт і швидкістю обертання до 6000 об/хв, добре використовувати для шліфування, полірування й різання на невелику глибину. Як правило, усі виробники

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

випускають КШМ, що працюють зі стандартними відрізними абразивними колами діаметром від 115 до 230 мм, з посадковим отвором діаметром 22 або 32 мм. При виборі кутошліфувальної машини слід ураховувати, що моделі, які не мають системи регулювання частоти обертання кола, підходять не для всіх видів шліфування, хоча досить успішно справляються з різанням бетону, цегли, металу й інших твердих матеріалів.

Основні характеристики пристрою [9].

УШМ-блок - це досить проста в технічному плані конструкція, що складається з обмеженої кількості деталей. Розглянемо його основні експлуатаційні параметри.

Число обертів.

Кутошліфувальна машина в більшості випадків використовується для обробки та нарізування різноманітних матеріалів. Те, наскільки якісно модуль справлятиметься з представленими операціями, залежить від швидкості обертання його ключового робочого органу. Виробниками виготовляються агрегати від 2 800 до 11 000 об/хв.

Потужність.

Друга основна характеристика УШМ - це обсяг енергії, що розвивається інтегрованим у конструкцію двигуном. Асортимент вкрай широкий - від 500 до 2600 Вт. Чим більший діаметр фіксованого кола, тим потужніший апарат.

Оснащення.

Сучасні кутошліфувальні машини оснащуються дисками діаметром від 115 до 300 мм включно. Для різних завдань потрібні деталі, що відрізняються один від одного. Наприклад, невеликим відрізним блоком можна робити надрізи з надзвичайним рівнем точності, а масивний пелюстковий модуль дозволить очистити металеву поверхню від корозійних відкладень (або лакофарбового оздоблювального матеріалу).

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

### 1.3 Аналітичний огляд засобів, методів навантаження КШМ та вимірювання моменту

#### 1.3.1 Навантажувальні пристрої для КШМ

Для механічного навантаження електричних двигунів використовуються різного роду гальмові пристрої, що дозволяють регулювати величину протидіючого навантажувального моменту на валу двигуна й одночасно вимірювати його величину. Широко застосовуються при дослідженні електродвигунів фрикційні й електромеханічні гальмові пристрої.

Прикладом фрикційного гальмового пристрою може служити стрічкове гальмо приведенне на рис.1.8 (аркуш [БРМА23.00.00.000Д0] [10].

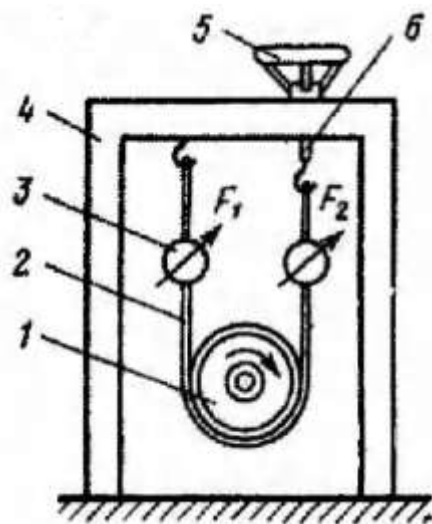


Рисунок 1.8 – Стрічкове гальмо з динамометром

Воно складається з гальмової стрічки 2, що охоплює шків 1 двигуна, що досліджується, двох динамометрів 5, гвинта 6 і штурвала (маховика) 5 з гайкою, що нагвинчує на гвинт. Гальмо монтується на стійці 4. Навантажувальний момент  $M_2$  визначають за показниками динамометрів  $F_1$  й  $F_2$  (Н·м):

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

$$M_2 = 0,5(F_2 - F_1), \quad (1.1)$$

де  $D$  - діаметр шківа, м.

Якщо шкала динамометрів відградуєвана в кілограмах, то формулі (1.1) необхідно ввести множник 9,81. Щоб уникнути перегрівання стрічки шківів під час гальмування варто охолоджувати водою. Але й у цьому випадку використання стрічкових гальм можливо лише при потужності електродвигуна не більше 3-4 кВт.

Для випробування електродвигунів досить малої потужності (не більше 20 Вт) призначене стрічкове гальмо з маятником на рис.1.9 (аркуш [БРМА23.00.00.000ДО]).

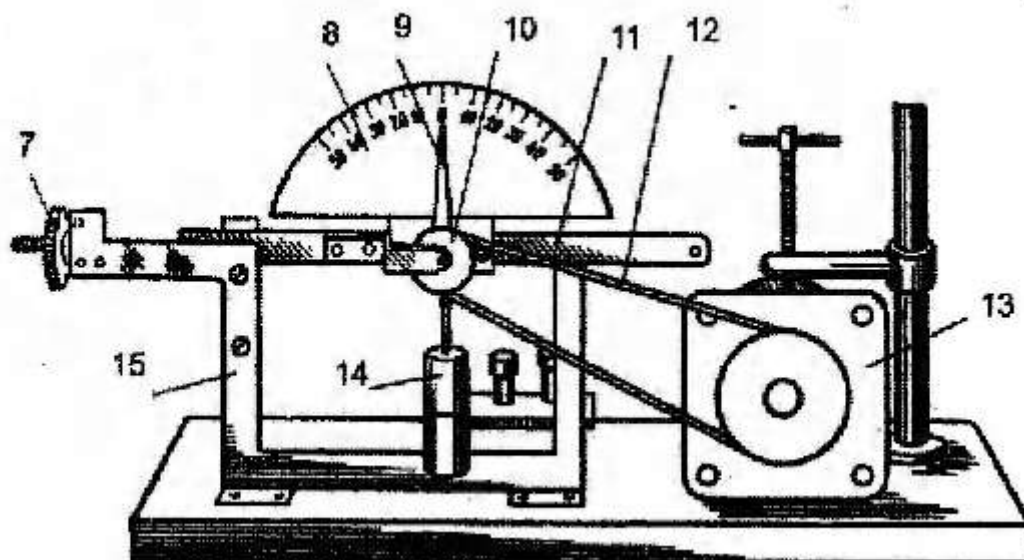


Рисунок 1.9 – Стрічкове гальмо з маятником

На осі жорстко закріплена стрілка 9, шків 10 і противага 14. Весь цей вузол зі шкалою 8 розташований на металевій планці 11, що поміщена на стійці 15. Обертанням гайки 1 створюється натяг шнура, а за рахунок сил тертя між шнуром 12 і шківом 13 електродвигуна шків 10 гальма повертається на деякий певний кут доти, поки противага, що відхилилася, 14

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

не зрівноважить силу, що діє на шнур з боку шківів електричного двигуна. Стрілка гальма, що при цьому відхилилася вкаже на шкалі 8 величину навантажувального моменту. Гранична величина навантажувального моменту регулюється величиною й положенням вантажу противаги й діаметром шківів електродвигуна.

Якщо шкала гальма відградується в градусах (рис.1.1), навантажувальний момент (Н·м):

$$M_2 = 9,81 G_1 \cdot \sin \alpha (D_{ш.д} / D_{ш.т}) \quad (1.2)$$

Електромеханічні гальмові пристрої розділяються на:

- електромагнітні;
- електродинамічні.

Електромагнітне гальмо - це гальмо, яке складається з електромагніта, у магнітному полі якого обертається металевий диск, що насаджений на вал електричного двигуна, що досліджується. Навантажувальний момент на валу електродвигуна створюється взаємодією вихрових струмів, наведених в обертаючому диску, з магнітним полем електромагніта. Величина навантажувального моменту регулюється зміною величини постійного струму в обмотці електромагніта. На рис.1.10 (аркуш [БРМА23.00.00.000Д0] [10] приведений пристрій електромагнітного гальма, що складається із чотирьох полюсів 23, з полюсними котушками 22, з'єднаними послідовно, укріплений на одній стороні вісі, що має можливість повертатися в підшипниках, закріплених у стійці 21, на іншій стороні цієї вісі розташовані стрілки 20 і вантаж 27. При вмиканні двигуна диск 25 (разом з його валом 26) обертається в магнітному полі електромагніта. При цьому в диску наводяться вихрові струми, що створюють на ньому гальмуючу дію. В результаті електромагнітної взаємодії обертового диска з полюсними наконечниками 24 електромагніта вісь разом з електромагнітом і вантажем 27 повертається на

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

певний кут, при якому протидіючий момент, що створюється вантажем (противагою) 27. зрівноважить корисний момент електродвигуна  $M_2$ . На такий же кут відхилиться стрілка 20 і покаже на шкалі 28 величину навантажувального моменту.

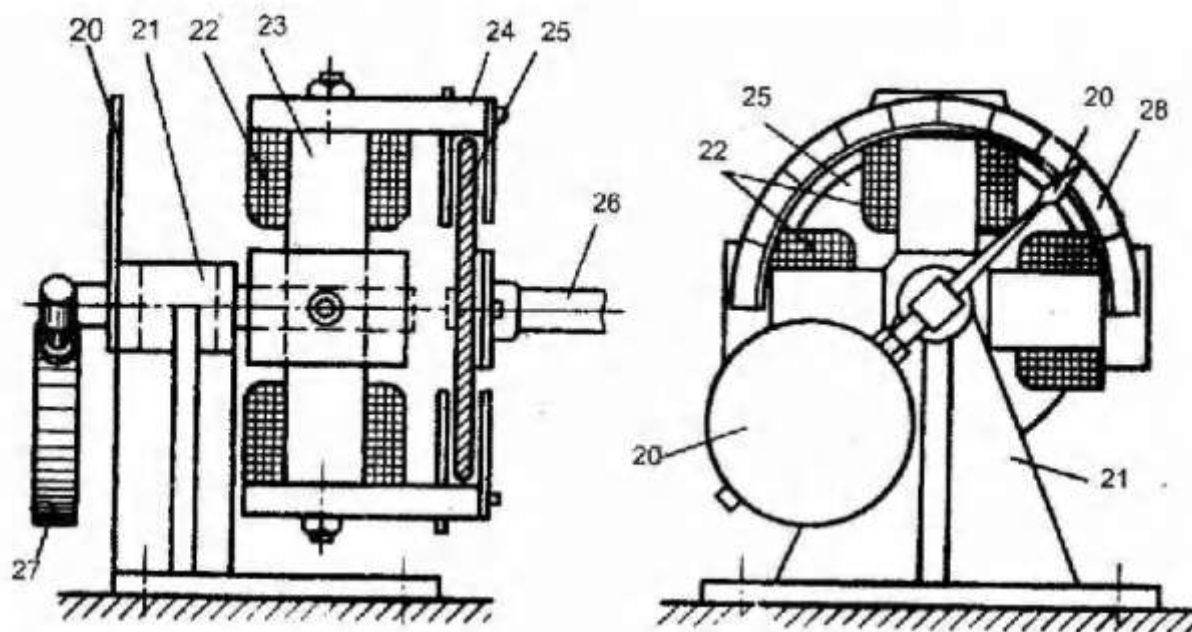


Рисунок 1.10 – Електромагнітне гальмо

Кількість полюсів в електромагнітному гальмі може бути різною: при невеликих навантажувальних моментах їх число дорівнює двом, а при значних - чотирьом або шести. Диск виготовляють із феромагнітної сталі й лише в невеликих гальмах, що застосовуються для випробування двигунів невеликої потужності (не 500 Вт), його виготовляють алюмінієвим.

Електромагнітні гальма є зручними в експлуатації. Вони дозволяють плавно змінювати навантаження шляхом регулювання величини струму в обмотці збудження електромагніта, показують безпосередній відлік величини навантажувального моменту по шкалі. Крім того, ці гальма дають можливість вимірювати величину початкового пускового моменту (при напругах, що допускають режим короткого замикання). Із цією метою в спеціальний отвір у диску встановлюють шпильку, що зчіплюється з

						Арк.
					БРМА23.00.00.000 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

полюсним наконечником електромагніта. Величину пускового моменту відраховують по шкалі після припинення коливання полюсної системи електромагніту.

Електродинамічне гальмо (рис.1.11, аркуш [БРМА23.00.00.000Д0]). Цей вид гальма іноді ще називається балансирною машиною. Воно представляє собою генератор постійного струму незалежного порушення. Підшипникові щити цього генератора повинні мати конструкцію, що дозволяє встановити його в підшипниках на спеціальних опорах [10].

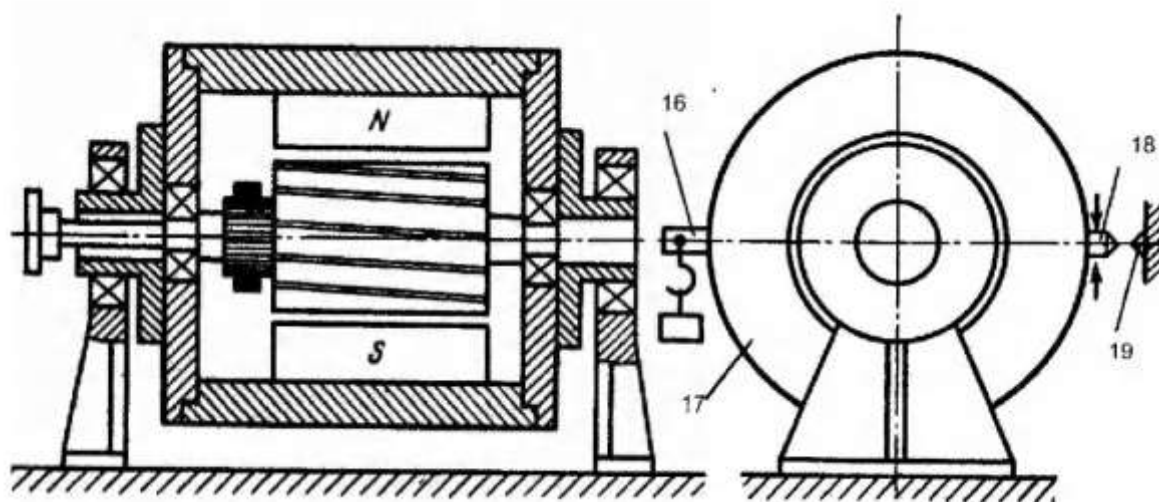


Рисунок 1.11 – Електромагнітне гальмо

На станині 17 закріплене коромисло, одне плече 16 якого має гак для підвішування вантажів, а інше плече 18 має стрілку, що вставлена між двома упорами, які виключають обертання статора, але допускають його поворот на певний кут. Вал якоря механічно з'єднаний з валом двигуна, що досліджується муфтою, а виводи обмотки якоря приєднані до навантажувального опору. При включенні двигуна, що досліджується, якір гальма приводиться в обертання й на якорі виникає протидіючому обертанню електромагнітний момент. При цьому станина отримує зусилля, що прагне повернути статор в сторону обертання якоря. Це зусилля компенсується вантажем, що підвішений до гака плеча 16 коромисла, і

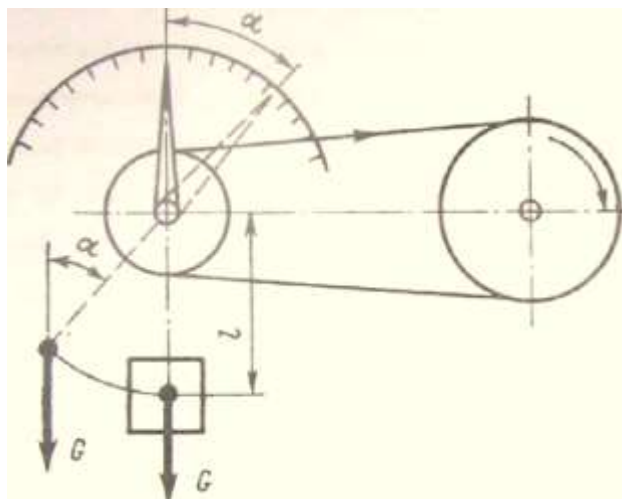
стрілка на плечі 18 коромисла 16 встановлюється проти оцінки 19. Перш ніж використовувати електродинамічне гальмо, варто перевірити точність балансування: у непрацюючому гальмі стрілка плеча 18 коромисла повинна розташовуватися навпроти оцінки 19. При потребі балансування гальма виконується підвішуванням додаткових вантажів до плеча 18 або 16 (в залежності від виду небалансу).

Момент, що діє на станину гальма (Н м) (рис.1.12):

$$M_T = 9,81Gl \quad (1.3)$$

де  $G$  - маса вантажу, кг;

$l$  - довжина плеча, м.



$G$  – маса вантажу, кг;  $\alpha$  – кут відхилення стрілки, град;  $l$  – відстань від осі шківів до центра ваги вантажу

Рисунок 1.12 - Визначення моменту за допомогою стрічкового гальма з маятником:

Момент на валу електродвигуна, що досліджується:

$$M_2 = M_T + \Delta M, \quad (1.4)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

де  $\Delta M$  - похибка, що представляє собою момент, еквівалентний втратам у гальмі.

Похибка визначається по тарувальних кривих  $\Delta M = f(n)$ , знятим для правого й лівого обертання якоря гальма при різних частотах обертання  $n$ . Визначення похибки  $\Delta M$  здійснюється у такий спосіб. Балансирну машину включають у мережу постійного струму й вона працює в режимі електродвигуна. У цьому випадку статор отримує зусилля з боку обертового якоря й виходить із нейтрального (врівноваженого) стану. Тоді, підбираючи вантаж  $G_0$  на плечі 16 коромисла, повертають статор у врівноважений стан. При цьому похибка визначається (Н м):

$$\Delta M = 9.81 G_0 l \quad (1.5)$$

Похибки визначають для різних частот обертання якоря  $n$ , а потім будують криву похибок  $\Delta M = f(n)$ , якою користуються при лабораторному дослідженні електричного двигуна, що навантажується електродинамічним гальмом.

Для навантаження електричного двигуна можна застосувати генератор постійного струму незалежного зрушення. Обмотку якоря цього генератора підключають до навантажувального опору, а величину гальмуючого моменту регулюють зміною величини струму в обмотці збудження. Вимірявши напругу на виході генератора  $U_G$  й струм у колі якоря  $I_G$  визначають навантажувальний момент на валу двигуна, що досліджується (Н· м):

$$B = 9,55 I_G / U_G / (\eta_G) \quad (1.6)$$

де  $\eta_G$  - ККД генератора при потужності  $P_G = I_G U_G$ .

Значення  $\eta_G$  визначають для різних  $P_G$  після попереднього випробування генератора на визначення його ККД у всьому діапазоні

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

можливих навантажень, а потім будують графік  $\eta_{\Gamma} = f(P_{\Gamma})$ , яким користуються при дослідженні електричного двигуна.

### 1.3.2 Методи навантаження побутових КШМ

З метою зменшення витрати електричної енергії у всіх випадках, де це доцільно, при випробуванні повинна використовуватися система повернення енергії, що пройшла через електричну машину (ЕМ), що випробовується у мережу.

Розрізняють системи повернення енергії та взаємного навантаження. У першому випадку навантаження ІМ (або її привод) може реалізуватися за допомогою ЕМ іншого типу або навіть іншого роду струму. Місця споживання й повернення енергії відділені при цьому один від одного довгим енергетичним колом, у якому мають місце втрати.

У випадку взаємного навантаження для випробування застосовуються дві близькі по потужності, а ще краще - однакові ЕМ, з яких одна працює двигуном, а інша працює генератором. Місця відбору й повернення енергії при цьому збігаються, і з мережі споживається лише потужність, що рівна втратам двох ЕМ. Очевидно, що такі схеми найбільш економічні.

Нижче приводяться основні принципи побудови схем взаємного навантаження для ЕМ різного типу й роду струму.

Варто мати на увазі, що для ЕМ з одним кінцем вала напрямку обертання в схемі взаємного навантаження виходять різними, що вимагає перепідєднання обмоток, налагодження комутації ЕМ постійного струму.

Методи навантаження машин постійного струму. Для цих цілей можуть використовуватися чотири різні схеми.

Схема, що приведена на рис.1.13, використовується для ЕМ з регульованим зрушенням. Посиленням струму зрушення одна з ЕМ

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

переводиться в генераторний режим. Магнітні потоки в ЕМ виходять різними. Покриття втрат здійснюється за рахунок мережі.

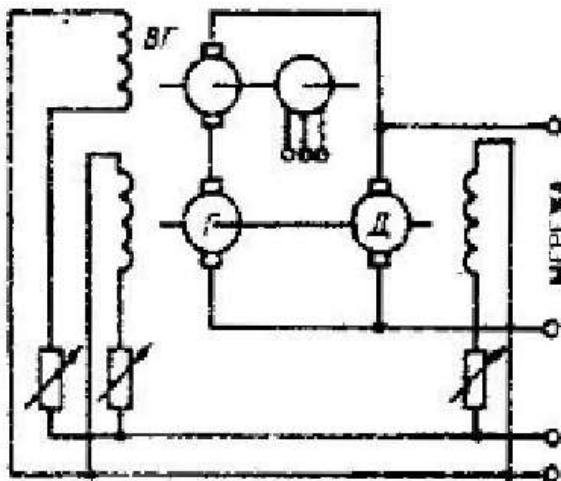


Рисунок 1.13 – Схема взаємного навантаження із регульованим збудженням

На рис.1.14 приведена схема з додатковим двигуном. Втрати, за винятком втрат на порушення, покриваються за рахунок енергії, підведеної до вала додаткового двигуна (ДД). Обмотки збудження повинні живитись (з метою стійкості режиму) від електричної мережі. Схема досить зручна для високовольтних і низьковольтних ЕМ. Магнітні потоки ВМ різні.

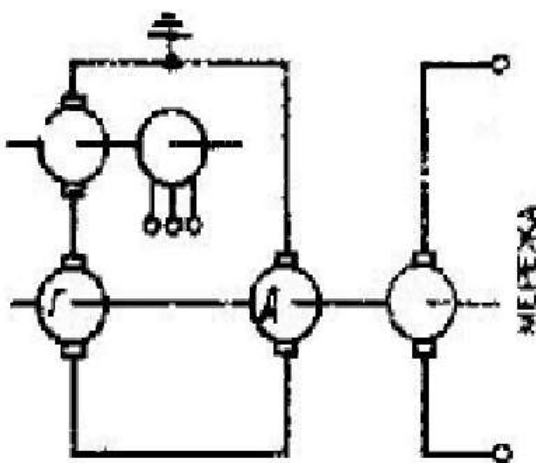


Рисунок 1.14 – Схема взаємного навантаження з додатковим збудженням

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Схема з живленням від електричної мережі й вольтодобавочним генератором (ВГ). У цій схемі в коло якоря ЕМ, що працює генератором, включається ВГ, розрахований на повний струм, і напруга, рівна сумарному падінню напруги в якірних колах двох ЕМ. Магнітні потоки в ЄМ однакові, що важливо при дослідженні додаткових втрат.

Схема із ВГ і допоміжним двигуном. Така схема створює повністю ідентичні по струмах в обмотках умови роботи ВМ. Використання ВГ обов'язково при випробуванні ЕМ з нерегульованим зрушенням, наприклад тягових двигунів послідовного зрушення. Показником правильності зборки схеми в цьому випадку є відсутність обертання ВМ при наявності струму через якірні кола при зрушенні ВГ. ВМ повинні мати однакову частоту обертання в обидві сторони в рухомому режимі.

Для забезпечення можливості роботи ЕМ у схемах взаємного навантаження вони повинні мати стійкі характеристики, а саме: частоту обертання ВМ, що працює в руховому режимі і напругу ВМ, що працює в генераторному, повинні зменшуватися з ростом навантаження (струму якоря), що досягається введенням магніторушійної сили (МРС), пропорційної струму (включенням послідовної обмотки, зрушенням щіток з нейтралі), спрямованої проти МРС зрушення.

Значення й характер (рухомий, генераторний) навантаження синхронних ЕМ (ЄМ) визначаються кутом  $\delta$  між віссю полюсів ротора Е і поля статора U, тому навантаження ЄМ методом взаємного навантаження може бути здійснене за рахунок створення відносного кутового зрушення між полями статорів двох спарених ЄМ або роторами, в результаті чого одна зі ЄМ працює в генераторному режимі, а інша - в режимі електродвигуна.

Як у випадку ЕМ постійного струму, покриття втрат при випробуванні може здійснюватися як з електромережі, так і механічно - обертанням двох спарених ЄМ приводним двигуном [11].

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найпростішим варіантом навантаження є створення кутового зрушення між самими роторами. Цей варіант не має потреби в додаткових пристроях і є єдиним можливим варіантом для випробування ЕМ великої потужності (турбогенераторів).

До недоліків варіанта відноситься складність регулювання навантаження (кута  $\delta$ ), що вимагає повороту роторів на малі кути; спарені муфти (М) повинні бути жорсткими (для цих цілей можуть, наприклад, застосовуватися зубчасті напівмуфти й обойми із внутрішнім зачепленням).

Тому при випробуванні великих турбогенераторів доводиться проводити точні розрахунки самого кута. Для СМ малої й середньої потужності можуть застосовуватися пристрої для повороту статора однієї з ВМ навколо осі обертання на заданий кут.

Вище описані варіанти засновані на механічному регулюванні кута  $\delta$ . Існує також варіант електричного регулювання даного кута. Відносний поворот поля статора однієї зі СМ може бути отриманий включенням у його коло фазорегулятора (ФР) (ця СМ застосовується як навантажувальна, оскільки напруга на її затискачах відрізняється в цьому випадку від номінального).

Іншим варіантом електричного регулювання кута  $\delta$  є використання як привод або навантаження спеціальної СМ (з тим же числом пар полюсів, що і ВМ), що має неявно полюсний ротор з двома обмотками збудження, зрушеними на електричний кут  $90^\circ$ . Змінюючи відношення струмів зрушення в цих обмотках, можна плавно повертати вісь поля ротора. Така машина подвійного зрушення (МДВ) представляє значні зручності для випробувальних станцій.

Навантажена СМ струмом, близьким до номінального, може бути отримана без спарення при роботі в режимі синхронного компенсатора ( $\cos\varphi = 0$ ).

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Величина й характер навантаження (рухомий, генераторний) АЕМ визначається значенням і напрямком (знаком) ковзання  $s$ .

Зворотна робота АЕМ можлива при наявності двох електричних мереж із частотами:

$$f_1 = (1+s) f \text{ і } f_2 = (1 - s) f,$$

де  $f$  - номінальна частота.

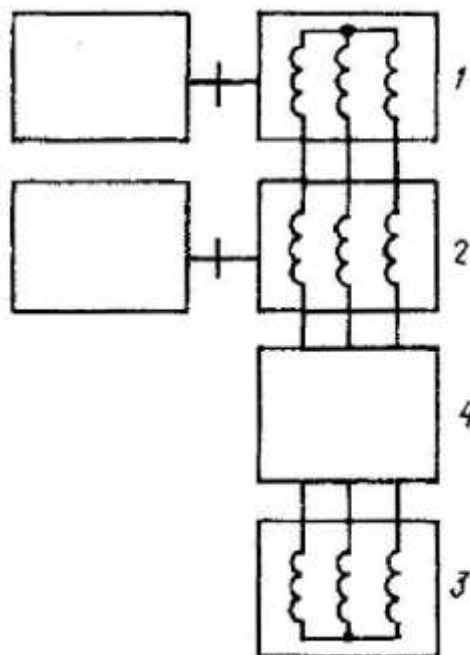
Для АЕМ з малими значеннями  $s$  можна мати тільки одну електричну мережу з регульованою частотою та працювати із частотами  $f$  та  $f(1 - 2s)$ . Взаємне навантаження АЕМ від однієї електричної мережі можливі, якщо між валами ВМ включається редуктор з передатним відношенням  $1 + 2s$ .

Для АЕМ з фазним ротором для здійснення режиму зворотної роботи можуть застосовуватися каскадні схеми. ВМ спарена в цій схемі із шестиполюсною АЕМ (ЛГ1), з кілець ротора якої живлять асинхронний двигун-генератор (чотири - і десятиполюсний). Регулювання навантаження проводиться опором у колі ротора ЛГ2. Втрати в опорі становлять приблизно 7 % від потужності ВМ. Номінальна потужність АД2 і АГ2 становить 1/3 потужності ВМ. Загальні втрати в схемі рівняються приблизно 30- 35% потужності ВМ.

Інший приклад схеми зворотної роботи при випробуванні великих АД (8-10 МВт) із короткозамкнутим ротором. Як навантаження застосовується АЕМ з фазним ротором (яка може бути отримана перемотуванням обмотки ротора АЕМ того ж типу, що й випробувана (з форсуванням охолодження). У коло контактних кілець цієї АЕМ включаються три ЕМ постійного струму. Обмотки збудження ЕМ постійного струму живляться від джерела низької частоти (регульованої в межах від 0 до  $f s$ ). Завданням цієї частоти встановлюється потрібний режим навантаження ВМ. Необхідна потужність ЕМ постійного струму дорівнює  $P_{НОМС}$ .

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Для АЕМ є можливість навантаження номінальним струмом без спарювання за рахунок живлення від двох джерел з різною частотою (50 та 40 Гц). Така схема приведена на рис.1.15 [11].



1 - генератор (індукційний регулятор) частотою 50 Гц; 2 - генератор частотою 40 Гц; 3 – двигун, що випробовується; 4 - схема вимірювання струму, напруги, потужності.

Рисунок 1.15 – Схема двохчастотного навантаження колекторного двигуна

Регулюючи напругу генератора (частотою 40 Гц), можна одержати номінальний струм ВМ. Такий штучний метод навантаження дозволяє проводити контрольні випробування (за винятком перевірки рівня вібрації й шуму), визначати перевищення температури й додаткові втрати.

Існує також ряд інших схем штучного навантаження АЕМ без спарювання, наприклад по методу Костенка-Кузнєцова з використанням постійного струму.

#### 1.4 Висновки до першого розділу

В даному розділі проведено огляд кутошліфувальних машин та способів їх дослідження. Здійснюється огляд ринку електроінструменту України. Приводяться загальні відомості про кутошліфувальну машину. Здійснюється аналітичний огляд засобів, методів навантаження КШМ та вимірювання моменту.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

## 2 РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КУТОШЛІФУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

### 2.1 Розробка структурної схеми стенду для дослідження кутошліфувальної машини

З метою створення стенду для дослідження кутошліфувальної машини було розроблено структурну схему. Дана схема представлена на рис.2.1 (аркуш [БРМА23.00.00.000Е1] [12]).

Основними вузлами стенду є: вузол вводу; датчик температури; мікроконтролер; драйвер ключів; силовий ключ; драйвер дисплея; дисплей та електропривод.

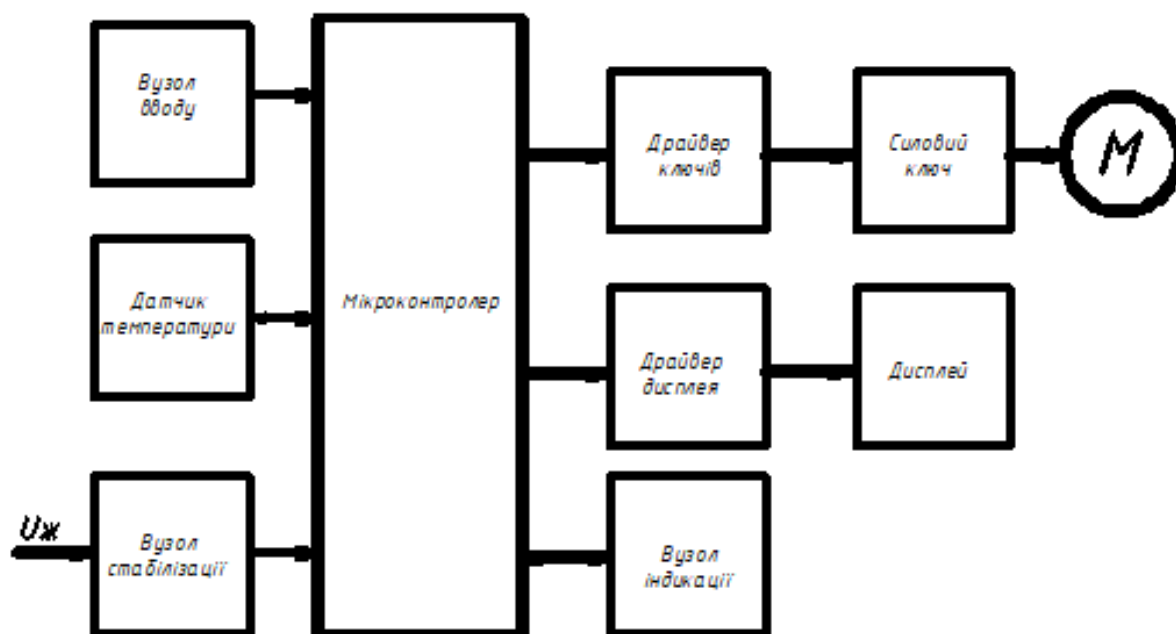


Рисунок 2.1 – Структурна схема стенду для дослідження кутошліфувальної машини

## 2.2 Розробка електричної принципової схеми вузла керування

Керування швидкістю обертання електричним двигуном забезпечується зміною кута відкривання семістора, підключеного послідовно з електродвигуном ~220 Вольт 50 Гц [13-19]. Для підтримки швидкості обертання вала електричного двигуна в межах 20% від заданого мікроконтролер аналізує струм його споживання, тому що струм, який споживається двигуном залежить від:

- напруги електричної мережі;
- температури електричного двигуна;
- кута відкривання семістора;
- стану колектора електричного двигуна і його щіток;
- швидкості обертання вала електричного двигуна.

Нехтуючи впливом температури на струм споживанням і станом щіток електродвигуна, знаючи напругу живлення електричної мережі і кут відкривання семістора, можна з точністю судити про швидкість обертання вала електричного двигуна. Алгоритм вимірювання і підтримки швидкості обертання вала електричного двигуна у блоці керування побудований наступним чином:

Обертаючи колесо потенціометра R10 можна задати потрібний кут відкривання семістора, відповідно і необхідну швидкість обертання вала електричного двигуна. Внаслідок будь-якої зміни струму споживання електричного двигуна (струм залежить від швидкості), мікроконтролер змінює кут відкривання семістора в необхідну сторону до тих пір, доки вимірювальний струм не співпаде з табличним значенням. Дана таблиця записується в пам'ять мікроконтролера на стадії проєктування і виражає залежність струму, що вимірюється від кута відкривання семістора при незмінній швидкості обертання вала електричного двигуна. Таким чином, при співпаданні вимірювального і табличного значення струму, швидкість

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

обертання вала електричного двигуна наближається до заданої потенціометром R10.

Знаючи що, напруга споживання електромережі не завжди відповідає номінальному значенню (~220 В), виникає похибка вимірювання швидкості обертання вала електричного двигуна. Для того щоб зменшити вплив даної похибки, на мікроконтролер поступає інформація про напругу електричної мережі. При значному відхиленні від номінального значення напруги мікроконтролер вводить потрібну поправку кута відкривання семістора і швидкість обертання вала електричного двигуна знову наблизиться до заданої потенціометром R10.

Розглянемо більш детально роботу апаратної частини блока керування.

Блок керування складається з наступних функціональних вузлів:

- синхронізації з електромережею 50 Гц;
- задатчика;
- пристрою керування симістором;
- аналогово-цифровим перетворювачем (АЦП) напруги електромережі;
- АЦП струму споживання;
- джерела струму.

Синхронізація з електромережею 50 Гц потрібна для привязки на деякий час управляючих імпульсів симістора до переходу через нуль напруги мережі живлення. Імпульси синхронізації управляють роботою задатчика і АЦП струму споживання.

Схема синхронізації з електромережею 50 Гц зображена на рис.2.2 і складається з двох компонентів обмежувача струму R22 і обмежувача напруги. Функції обмежувача напруги виконують два захистних діода, які являються необхідною частиною мікроконтролера і знаходяться всередині його корпусу.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

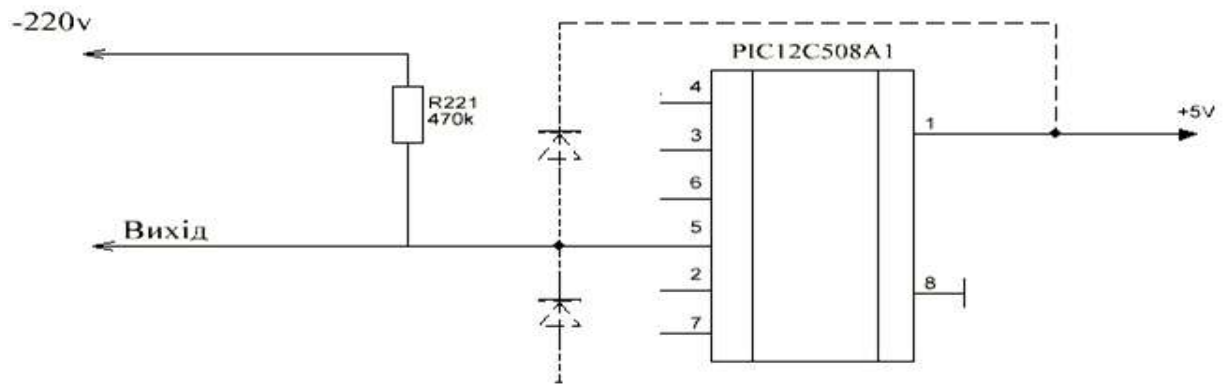


Рисунок 2.2 - Схема синхронізації з електромережею

На схемі вони умовно зображені пунктиром. Діоди включені так, що амплітуда напруги на вході мікроконтролера ніколи не перевищує напруги живлення +5В більш, ніж на  $\pm 0,7$  В. Форма синхро імпульсів близька до "меандру" і має вигляд як чергування рівней логічного "0" і логічної "1". Довжина рівнів логічного "0" і логічної "1" приблизно рівна 10 мсек і залежать тільки від частоти електромережі живлення.

Задатчик виконує роль перетворювача кута поворота колеса блока керування в послідовність імпульсів.

Електрична схема задатчика зображена на рис.2.3.

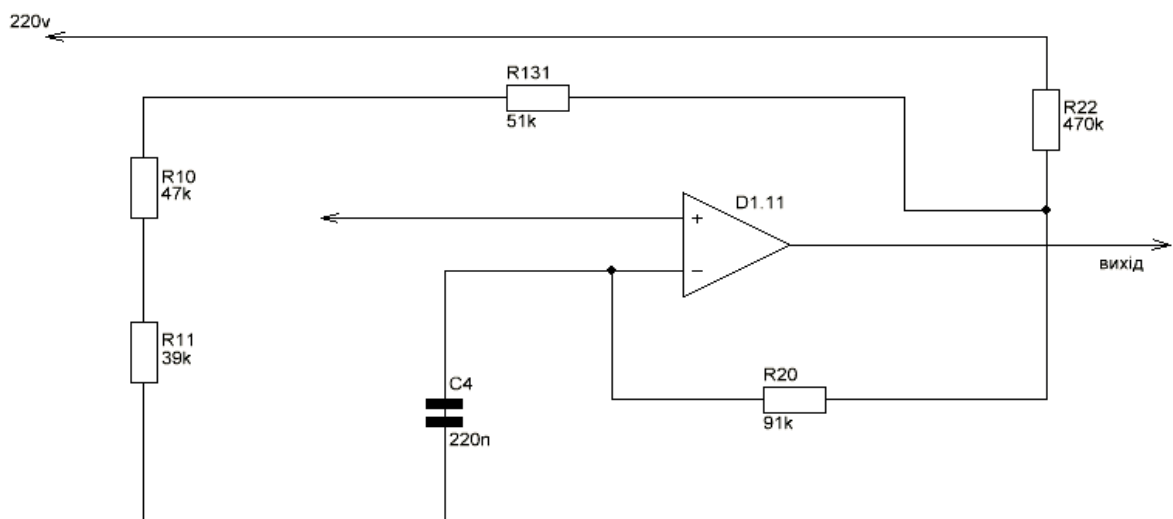


Рисунок 2.3 - Електрична схема задатчика

Синхро імпульс поступає на регулюючий електродвигун напруги R13, R10, R11 і на інтегруючу ланку R20, C4. На конденсаторі C4 утворюються імпульси трикутної форми, а на виході діляника прямокутні з амплітудою, що регулюється. Два цих сигнали зрівнюються в операційному підсилювачі (ОУ) D1.1 і перетворюються в послідовність імпульсів з скважністю, що регулюється. Довжина рівня логічної "1" задається положенням ротора регулюючого резистора R10. Таким чином мікроконтролер отримує інформацію про положення регулюючого колеса блока керування.

Симістор VS1 управляється імпульсами відємної полярності, які виробляються ємнісним інвертором-підсилювачем (R3, C3, VT1, R14) по команді мікроконтролера.

Схема управління симістором зображена на рис.2.4.

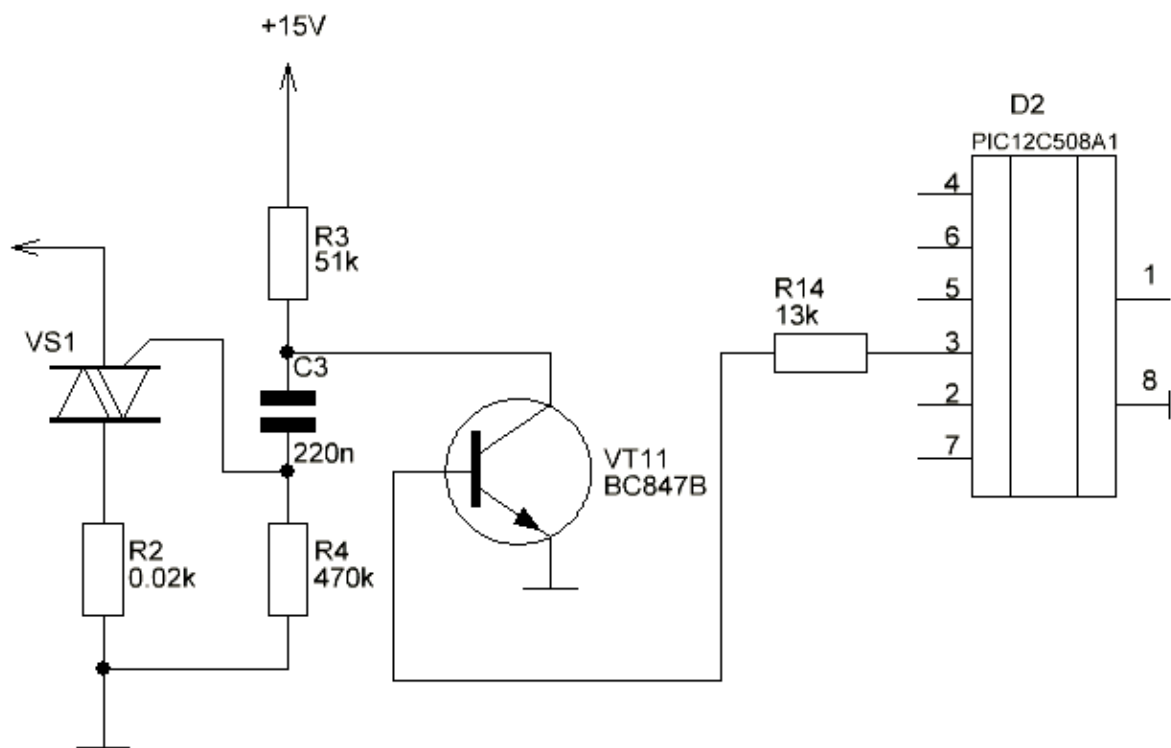


Рисунок 2.4 - Схема керування симістором

Конденсатор C3 заряджається по колу + 15В, R3, C3, C4, а розряжається - R4, C3, колектор - емітер VT1, загальний провід. Інакше кажучи, в момент,

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

коли потрібно відкрити симістор УБІ, мікроконтролер подає відкриваючий імпульс на базу транзистора VT1. Відкритий транзистор зеднує верхню (по схемі) пластину конденсатора С3 з загальним проводом. Так як перед відкриванням транзистора електричний потенціал нижньої пластини зарядженого конденсатора С3 був на 6-7 В менше електричного потенціала верхньої пластини, тоді після зеднання верхньої пластини із "землею" на нижній пластині зявиться напруга з знаком мінус 6-7 В, які впадуть до "0" по мірі розряду конденсатора С3. Коли закінчиться відкриваючий імпульс, транзистор VT1 закриється і конденсатор С3 знову отримає можливість заряджатися енергією джерела +15В через резистор R3. Відкривання симістора V1 здійснюється через кожні 10 мсек (кожний напівперіод електромережі живлення -220 В 50 Гц).

Аналогово-цифровий перетворювач напруги мережі живлення призначений для претворювання напруги електричної мережі живлення в скважність вихідної послідовності імпульсів.

АЦП напруги електричної мережі живлення приведений на рис.2.5. Відемна напівхвиля цієї напруги через дільник R6, R7, через обмежувальний резистор R8 і випрямляч VD1 заряджає відемною напругою верхню пластину конденсатора С5. Заряд конденсатора С5 прямопропорційний величині напруги електричної мережі живлення. Під час додатньої напівхвилі конденсатор разряжається додатньою напругою +5В через резистор R16 до напруги насичення переходу база - емітер транзистора VT2 (+0,7В). Оскільки струм розряда С5 залежить від напруги живлення +5В і від опору резистора R16, а ці величини постійні, то він практично не змінюється, значит період розряда (точніше перезаряда) залежить тільки від збереженої енергії в конденсаторі С5. Відповідно, період розряду залежить від напруги електричної мережі живлення.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

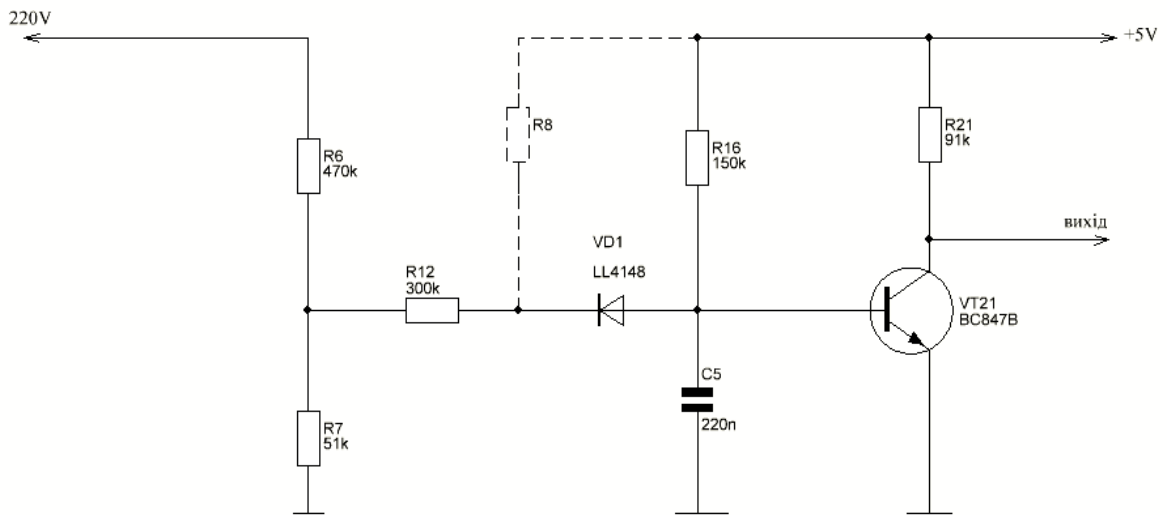


Рисунок 2.5 – Аналогово-цифровий перетворювач напруги живлення

Транзистор VT2 знаходиться в закритому положенні до тих пір, поки не закінчиться процес перезарядки конденсатора C5. Результат перетворення виражається часовим інтервалом, який знаходиться між початком додатної напівхвилі мережі 220 В (передній фронт синхро імпульса) і відкриванням транзистора VT2.

Аналогово-цифровий перетворювач струму живлення призначений для перетворення струму електричного двигуна в скважність вихідної послідовності імпульсів.

АЦП струму споживання зображений на рис.2.6. Напруга, спадаюча на навантажувальному резисторі R2 прямопропорційна струму, протікаючому через електричний двигун. Вона поступає на інвертуючий підсилювач D1.31. Напруга на виході операційного підсилювача D1.31 не може приймати відємних значень, так як мікросхема E1 підключена до однополярного джерела живлення +5В.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

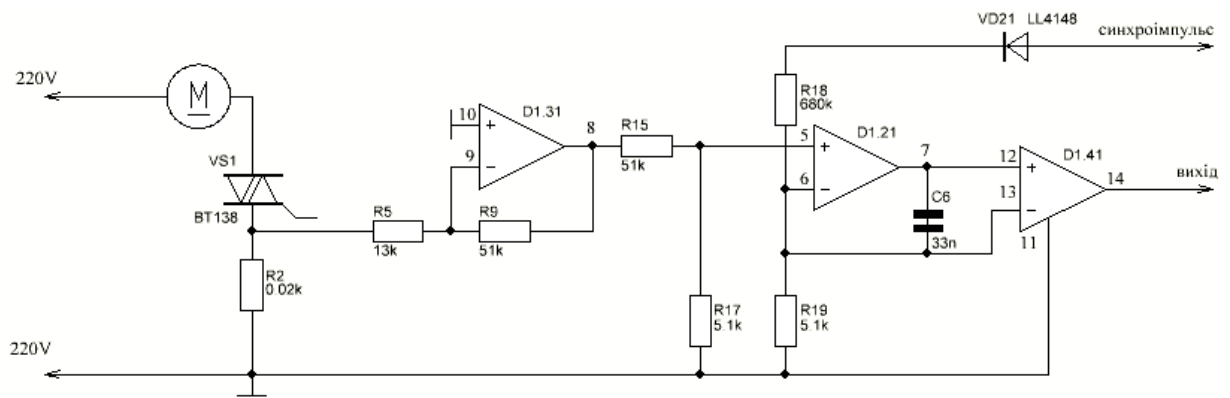


Рисунок 2.6 –Аналогово-цифровий перетворювач струму  
споживання

Це означає, що на виході операційного підсилювача D1.31 генерується проінвертований і підсилений сигнал, що появляється на резисторі R2 тільки за час відємного напівперіода мережі  $\sim 220$  В. Випрямлений таким чином сигнал поступає через дільник напруги R15, R17 на вхід інтегратора D1.21, D1.41. Дільник напруги R15, R17 потрібний тільки для усунення недоліків операційного підсилювача D1.

Інтегратор D1.21, D1.41 встановлений так, що під час відсутності синхроімпульса конденсатор С6 накопичує енергію, а під час синхро імпульсу її віддає. Струм заряда конденсатора С6 залежить від амплітуди вхідного сигналу. Це означає, що напруга зарядженого конденсатора прямопропорційна середньому струму, що протікає через електричний двигун під час одного відємного півперіода мережі живлення  $\sim 220$  В. Під час додатнього напівперіода конденсатор С6 разряжається нормованим стабільним струмом. Тому час розряда конденсатора лінійно виражає кількість збереженої в ньому енергії або середній струм, що пртікає через електричний двигун на протязі одного відємного напівперіода  $\sim 220$  В. Операційний підсилювач D1.41 реєструє стан С6. На виході ОУ D1.41 зьявляється рівень логічного "0", якщо конденсатор разряжений. В інших випадках рівень логічної буде рівень логічної "1". Результат перетворення виражається часовим інтервалом, який знаходиться поміж початком

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

додатньої напівхвилі мережі 220 В (передній фронт синхро імпульса) і рівнем логічного "0" на виході операційного підсилювача D1.41.

Джерело живлення забезпечує потрібною енергією всі вузли блока керування. Він представляє собою параметричний стабілізатор напруги.

Джерело живлення зображено на рис.2.7. Напруга мережі живлення 220В випрямляється діодом VD3 і частково погашається резисторами R23, R24 і R25 до рівня +10В...15В. Рівень пульсацій залежить від ємності конденсатора C5 і має, завдячуючи йому, задовільну амплітуду. Ця нестабільна напруга достатня, щоб жити пристрій управління симістором. Далі вона поступає на параметричний стабілізатор R27, VD4, C8. Струм стабілітрона задається сумарним опором резисторів погашення R23, R24 і R25.

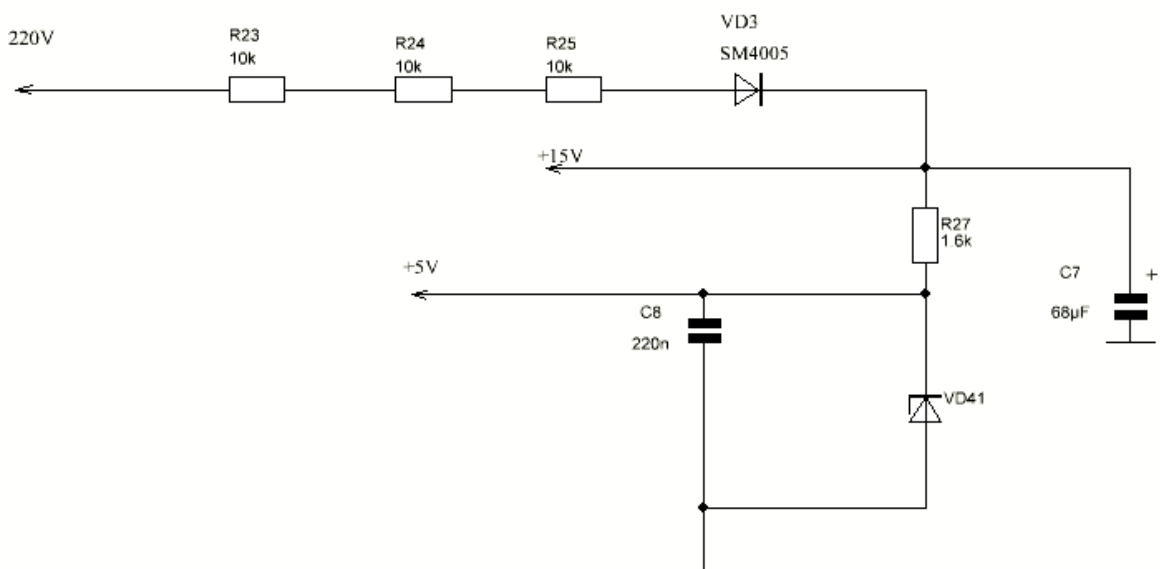


Рисунок 2.7 - Стабілізатор напруги

На рис.2.8 зображена електрична схема керування двигуном шліфувальної машини [20].

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

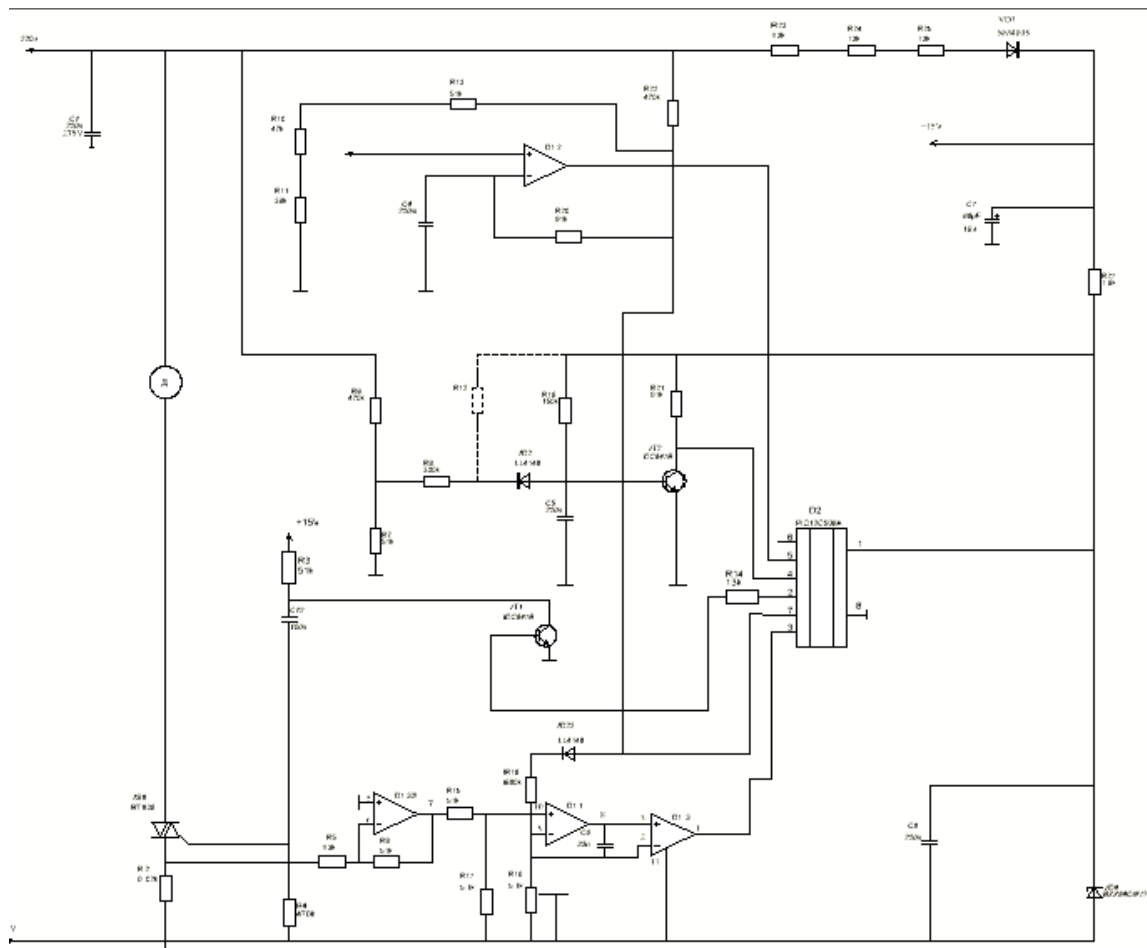


Рисунок 2.8 - Електрична схема керування двигуном шліфувальної машини

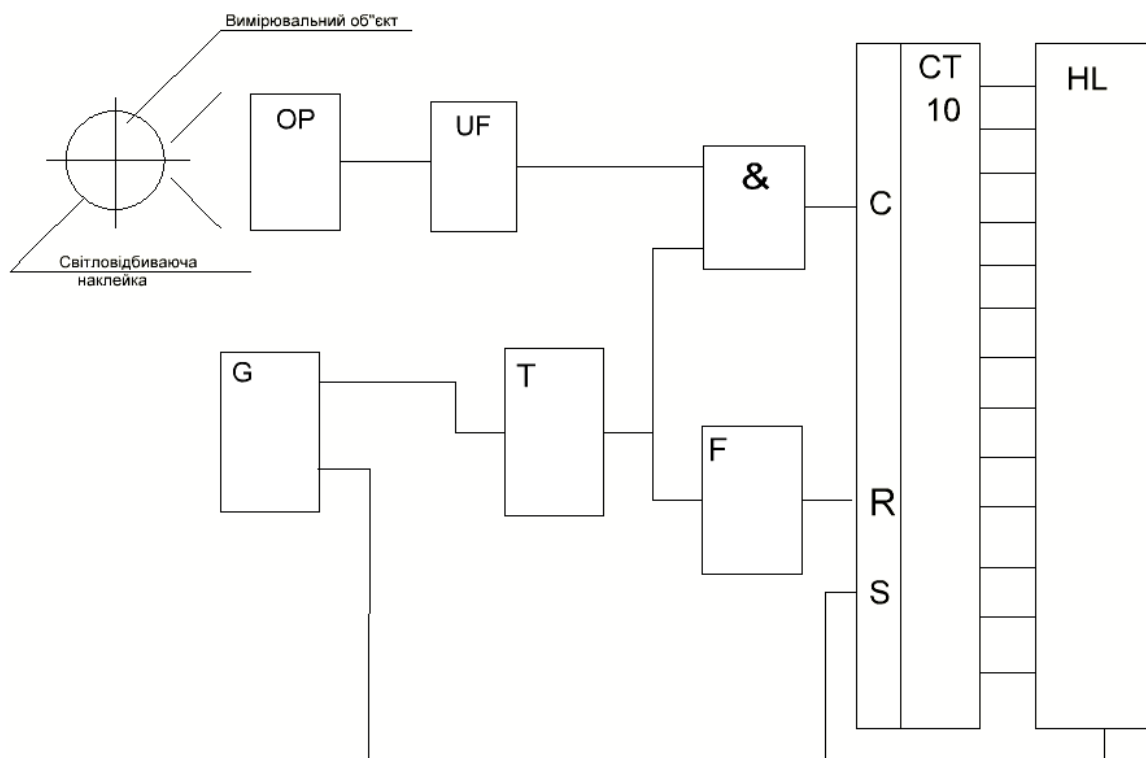
### 2.3 Розробка функціональної схеми електронного тахометра

Тахометр представляє собою цифровий частотомір з фіксованим часом вимірювання. Працює схема наступним чином. Світловий потік, що випромінюється світлодіодом оптопари ОР, модулюється світловідбиваючою стрічкою, яка наклеєна на вал (рис.2.9) [21].

Модульований світловий потік сприймається фотодіодом оптопари ОР і потім підсилюється та формується в підсилювачі - формувачі UF. Підсилений і сформований сигнал інвертується і подається на перший вхід схеми "ТА". Задаючий генератор G, що виконаний по схемі з кварцевою стабілізацією частоти, видає сигнали частотою 64 Гц і 1 Гц. Сигнал 64 Гц

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

служить для керування цифровим індикатором. Сигнал частотою 1 Гц поступає на тригер Т який формує вимірювальний імпульс довжиною в 1 с.



OP – оптопара; UF – формувач; & - схема "ТА"; G – задаючий генератор;  
 Т – тригер; F – формувач імпульсу; CT – лічильник десятковий;  
 HL – рідкокристалічний індикатор

Рисунок 2.9 – Функціональна схема електронного тахометра:

Вимірювальний імпульс подається на другий вхід схеми "ТА". Крім того, вимірювальний імпульс подається на формувач імпульсу обертання F. При роботі тахометра на виході схеми "ТА" формується пакет імпульсів, які подаються на вхід чотирьох розрядного десяткового лічильника, до виходів якого підключений цифровий показчик.

Перед початком кожного циклу індикації формувач видає імпульс, що переводить схему в нульовий стан.

## 2.4 Розробка електричної принципової схеми електронного тахометра

На основі функціональної схеми електронного тахометра було розроблено його електричну принципову схему [20]. Дана схема приведена на рис.2.10.

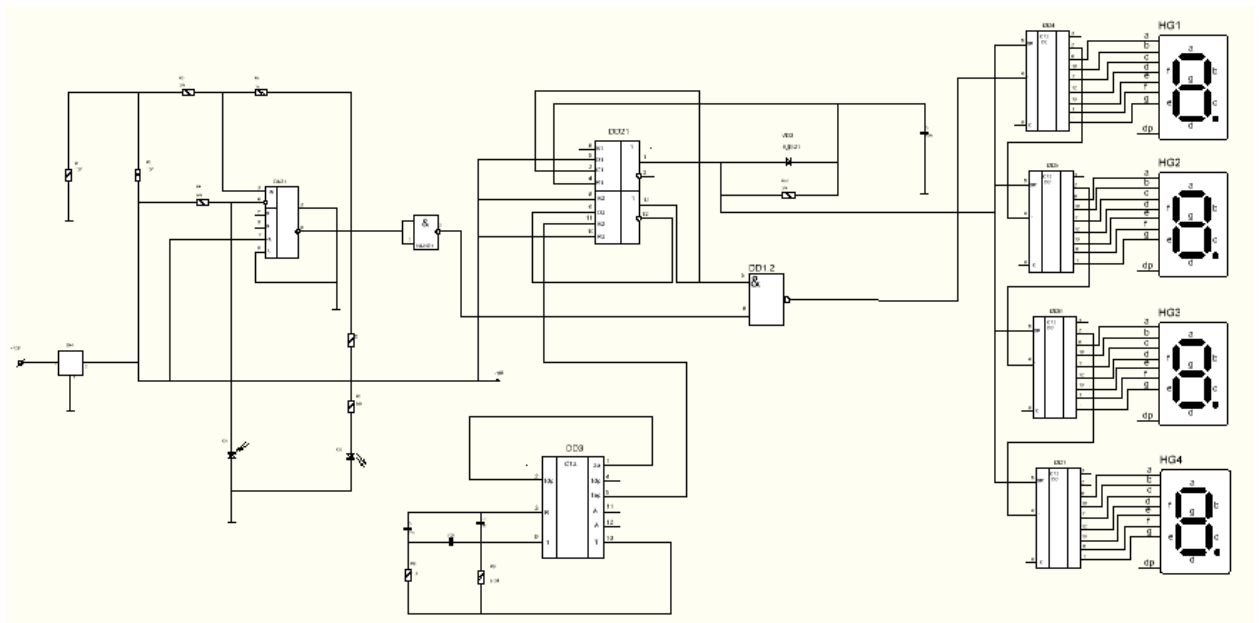


Рисунок 2.10 - Електрична принципова схема електронного тахометра

Враховавши, що мікросхеми на основі КМДН структурах відрізняються від таких же мікросхем ТТЛ чи ТТЛШ більшою швидкістю та меншою потужністю споживання схему електронного тахометра було побудовано на мікросхемах К167 та К561 [10]. В ролі підсилювача - формувача було використано компаратор К554СА3, що характеризується високою чутливістю, великим вхідним опором та низькою потужністю, що споживається. Компаратор має два виходи: відкритий колектор (вивод 9) та емітерний (вивод 2) [10].

Для схеми "ТА" підійде мікросхема К561ЛА7, що включає в себе 4 логічних елементи 2ТА-НІ.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

В ролі тригера було використано МС (мікросхему) К561ТМ2, що складається з двох одноканальних D-тригерів. Ця ж мікросхема буде виконувати функцію формувача обнулення.

Задаючий генератор було виконано на МС К176НЕС, що є п'ятнадцятирозрядним двійковим дільником частоти.

На МС К176ІЕ4- лічильнику по модулю 10 з дешифратором для виводу інформації на 7 - сегментний індикатор було побудовано лічильник імпульсів.

Навантаженням для такого лічильника підходить світлодіодна збірка АЛІС 324Б(338Б) [22-25].

Враховуючи живлення мікросхем напругою + 9 В на вході було встановлено стабілізатор напруги К142ЕН8А.

Оптопару було побудовано на світлодіоді з інфрачервоним випромінюванням АЛ10А [22], що характеризується досить низькою споживаною потужністю на фотодіоді.

Генератор частоти 64 Гц було виконано за схемою коливального контура на основі діода КДС21 та конденсатора ємністю 10000 пФ, а генератор частоти 1 Гц - за допомогою кварцевого резонатора та конденсаторів 18 пФ та 27 пФ. Всі застосовані конденсатори було вибрано типу КД на напругу живлення 16 В.

Типи резисторів, які було використано в процесі виготовлення тахометра - R3 мали потужність 0,125 Вт. Монтажні схеми було виконано на двохсторонньому фольгованому склотекстоліті, а підключення живлення та оптопар виконано за допомогою провідників.

Основні параметри мікросхем серії К176 та К561 представлені в табл.2.1 [22].

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 2.1 – Основні параметри мікросхем

Параметри	Серія МС	
	561	176
$U_{ж}$ , В	10±10%	9±5%
$I_{вх}$ , мкА, не більше	-0,05	1,0
$I_{вих}$ , мкА, не більше $U_{вх}$ , В, не більше	1,0 2,9	1,0 0,3
$I_{вих}$ , В, не більше	7,2	8,2
$T_{зур}$ , не, не більше	110 (при $C_H=50$ пФ)	220(при $C_H=50$ пФ)
$T_{здр}$ , не, більше	160 (при $C_H=50$ пФ)	220(при $C_H=50$ пФ)
$I_{спож}$ , мкА, не більше	6	3
$I_{пот}$ , мкА, не більше	6	3

## 2.5 Розробка електричної принципової схеми стенду для дослідження кутошліфувальної машини

На основі розроблених електричних схем в попередніх пунктах, було розроблено електричну принципову схему стенда для дослідження кутошліфувальної машини [20]. Дана схема представлена на рис.2.11 та на аркуші [БРМА23.00.00.000Е3]

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

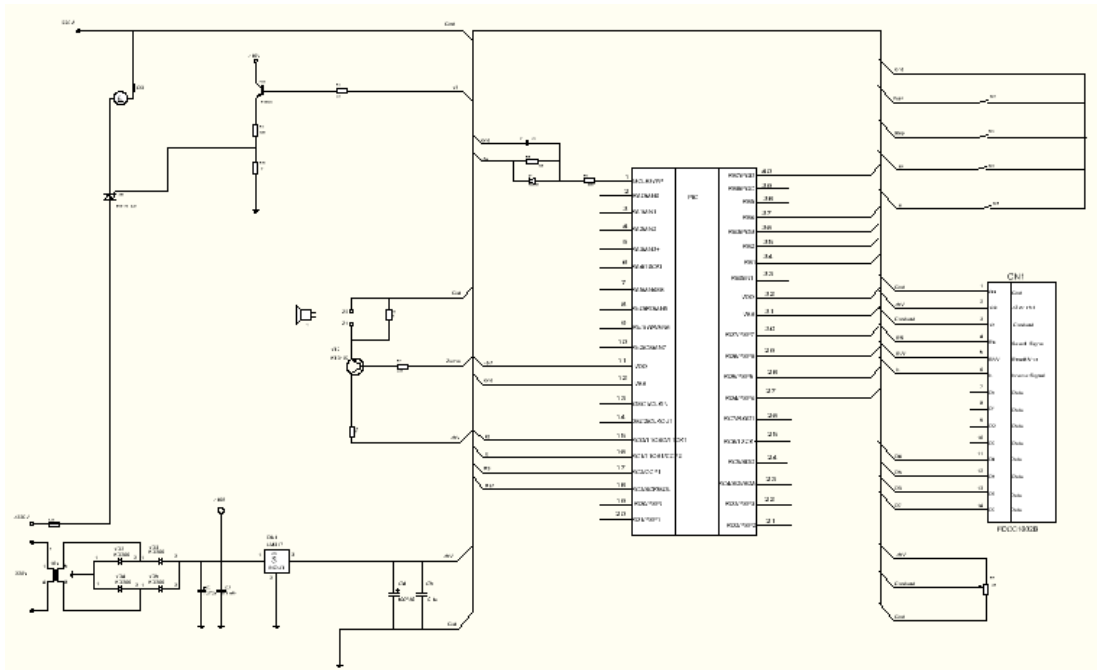


Рисунок 2.11 - Електричної принципової схеми стенду для дослідження кутошліфувальної машини

На основі електричної принципової схеми, приведеної на рис.2.11, було розроблено друковану плату. Загальний вигляд плати представлено на рис.2.12.

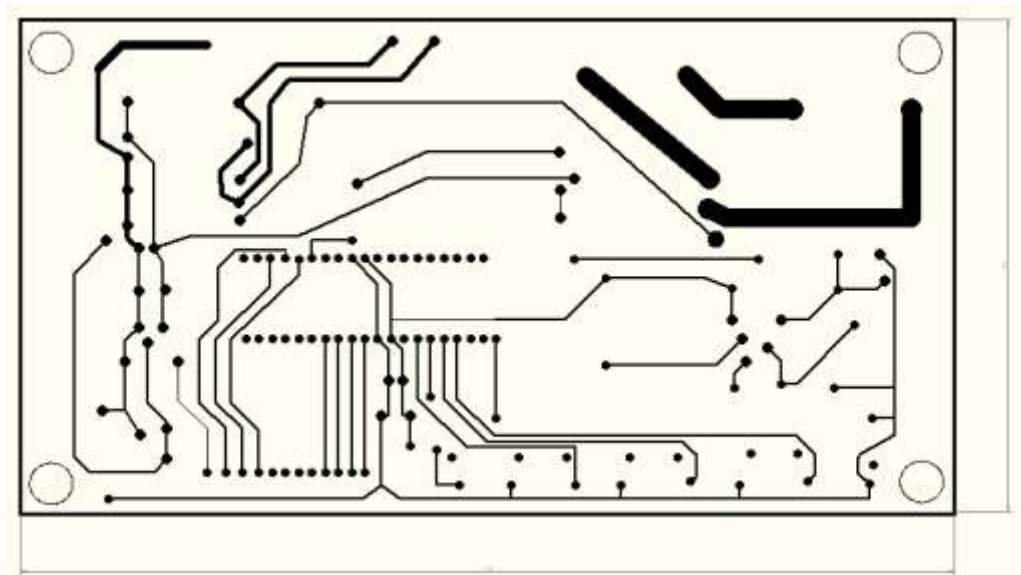


Рисунок 2.12 – Друкована плата стенду

Для її виготовлення використано гетінакс товщиною 1,5 мм [24, 25].  
Плату виготовлено хімічним способом.

В подальшому, використовуючи підібрані радіоелементи було проведено методом пайки їх монтаж на плату.

## 2.6 Розробка конструкції стенду для дослідження кутошліфувальної машини

Для монтажу розробленої плати та інших елементів було розроблено конструкцію та виготовлено каркас стенду. Загальний вигляд стенду із змонтованими елементами приведено на рис.2.13 та аркуші [БРМА23.00.00.000ВЗ].

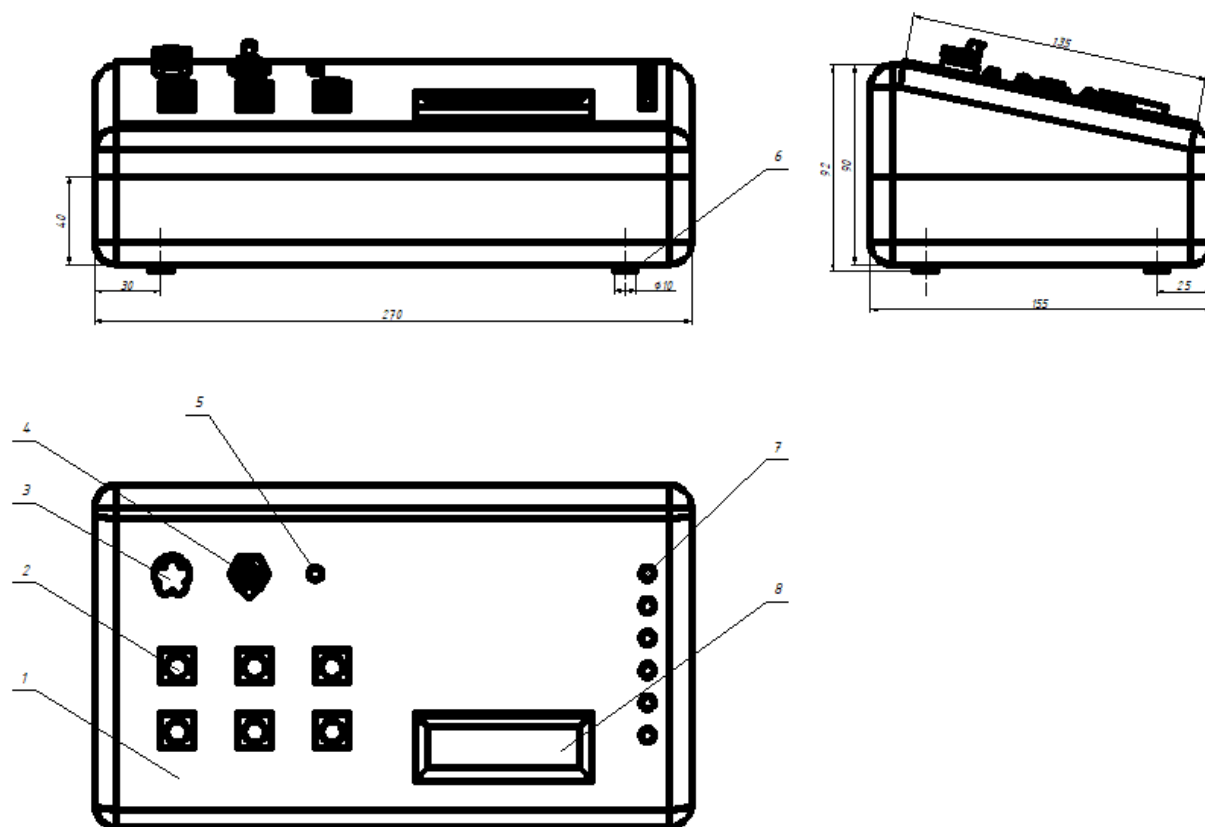


Рисунок 2.11 – Загальний вигляд стенду для дослідження кутошліфувальної машини

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Основними вузлами і елементами стенду є корпус 1; кнопка керування 2; запобіжник 3; тумблер 4; індикатор мережі 5; гумові ніжки 6; індикатори комутації фаз 7; рідиннокристалічний індикатор 8.

## 2.7 Висновки до другого розділу

В даному розділі здійснюється розробка стенду для дослідження кутошліфувальної машини. Проводиться розробка електричної принципової схеми вузла керування, функціональної та електричної принципової схеми електронного тахометра, загальної електричної схеми стенду. Здійснюється розробка конструкції стенду для дослідження КШМ.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

### 3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗАТНІСТЬ СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КУТОШЛІФУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

#### 3.1 Розрахунок електричного кола світлодіода

Розрахунок електричного кола зводиться до розрахунку баластного резистора на світлодіоді. Електрична схема включення світлодіода приведена на рис.3.1.

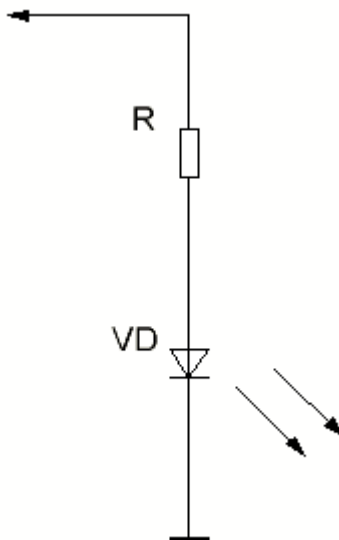


Рисунок 3.1 – Електрична схема включення світлодіода

Розрахунок резистора навантаження здійснюється за формулою:

$$R = \frac{U_{дж} - U_{пр}}{I_{пр}} \quad (3.1)$$

де  $R$  – опір баластного резистора, Ом;

$U_{дж}$  – напруга джерела живлення;  $U_{дж} = 9$  В;

$U_{пр}$  - пряма напруга світлодіода, В;  $U_{пр} = 2$  В;

$I_{пр}$  – прямий струм світлодіода, А;  $I_{пр} = 0,125$  А;

Підставивши числові значення у (3.1) та отримаємо:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R = \frac{9-2}{0,125} = 56 \text{ Ом}$$

По отриманому результату вибираємо резистор СЗ номіналом 56 Ом потужністю 0,5 Вт.

### 3.2 Розрахунок тензометричного моста

Вихідні дані [26].

Схема ввімкнення тензодатчиків з опорними резисторами представлено на рис. 3.2.

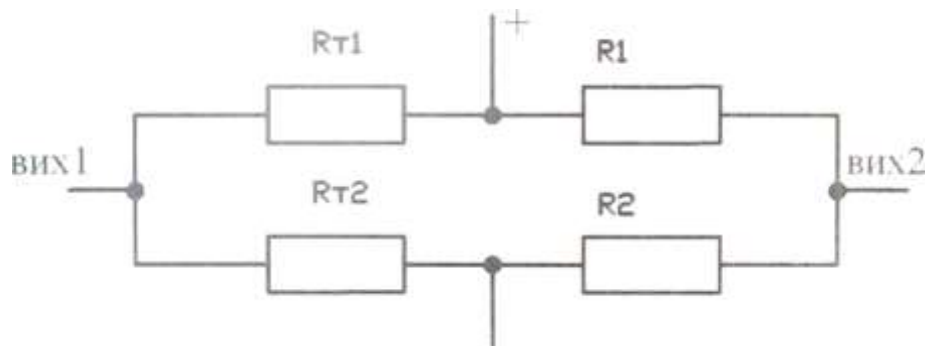


Рисунок 3.2 - Схема ввімкнення тензодатчиків з опорними резисторами

Напруга живлення вимірювального моста дорівнює 12В, максимальне переміщення балки складає 40мм.

Вихідна напруга на виході тензометричного моста розраховується за наступним виразом:

$$U_{\text{вих}} = U \frac{R_{T1}(1 + \varepsilon_R)R_1 - R_2R_{T2}}{[R_{T1}(1 + \varepsilon_R) + R_{T2}](R_1 + R_2)} \quad (3.2)$$

де  $\varepsilon_R$  – максимальне відносне переміщення планки, м.

Тоді:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$U_{вих} = 12 \frac{200(1 + 0,4)200 - 200 \cdot 200}{[200(1 + 0,04) + 200](200 + 200)} = 0,117 В$$

Отже, максимальна напруга на виході вимірювального моста складає 0,117 В.

### 3.3 Розрахунок загальної потужності споживання стендом

Поскільки балансний міст підключається паралельно напрузі живлення, і включення резисторів паралельно послідовне, то загальний опір моста дорівнює:

$$U_{вих} = U \frac{(R_t + R_t) \cdot (R_k + R_k)}{(R_t + R_t) + (R_k + R_k)}, \quad (3.3)$$

$$U_{вих} = U \frac{(200 + 200) \cdot (200 + 200)}{(200 + 200) + (200 + 200)} = 200 \text{ Ом},$$

де  $R_t = R_k = 200 \text{ Ом}$

Використовуючи закон Ома, було знайдено струм споживання:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (3.4)$$

$$I_{\text{моста}} = \frac{U}{R} = \frac{12}{200} = 0,06 \text{ А}.$$

Потужність споживання всією схемою буде визначатися сумою потужностей всіх елементів:

$$P_{СП} = (I_{\text{моста}} \cdot U_{\text{ж}}) + (I_{\text{контр}} \cdot U_{\text{ж}}) + (I_{\text{диспл}} \cdot U_{\text{ж}}) + (I_{\text{оп}} \cdot U_{\text{ж}}) \quad (3.5)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Струм споживання основних елементів складає [22]:

- мікроконтролер PIC16F877  $I_{\text{контр}}=0,0006 \text{ A}$ ;
- дисплей МТС16207Х  $I_{\text{дисп}}=0,03 \text{ A}$ ;
- операційний підсилювач LM  $I_{\text{оп}}=0,005 \text{ A}$ ;
- вузол тензодатчиків  $I_{\text{моста}} = 0,06 \text{ A}$ .

Потужність розсіювання на резисторах, діодах, конденсаторах має малу величину, тому їх до розрахунків не було включено.

Напруга живлення для мікроконтролера і дисплея складає 5В, вузла тензодатчиків та операційного підсилювача – 12В.

Таким чином споживана потужність стенду буде рівною:

$$P_{\text{сп}} = (0,06 \cdot 12) + (0,0006 \cdot 5) + (0,03 \cdot 5) + (0,005 \cdot 12) = 0,93 \text{ Вт.}$$

### 3.4 Розрахунок дільника напруги

Визначення напруги на вході мікроконтролера:

$$U_{\text{ВІХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}} \cdot R9}{R15} \quad (3.6)$$

де  $U_{\text{ВІХ}}$  – напруга яка необхідна на вході мікроконтролера (потрібно 5В);

$U_{\text{ВХ}}$  – номінальна вхідна напруга (12В).

Прийнявши, що  $R9 = 33000 \text{ Ом}$ , отримаємо:

$$U_{\text{ВІХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}} \cdot R9}{U_{\text{ВІХ}}} = \frac{12 \cdot 33000}{5} = 79200 \text{ Ом.} \quad (3.7)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Згідно номінального ряду отримуємо значення R15 рівним 81 кОм, R9 - 33 кОм.

### 3.5 Розрахунок розмірів вимірювальної балки

Схема дії сили в даній конструкції стенду приведена на рис.3.3.

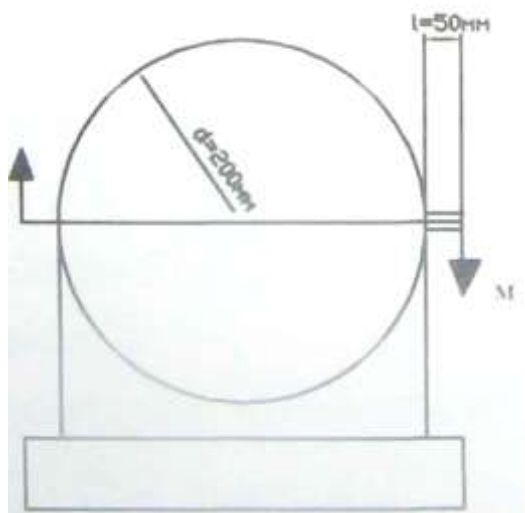


Рисунок 3.3 – Схема дії сили в даній конструкції стенду

Приймаємо максимальний обертовий момент рівним  $M = 20 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Знаходимо силу з якою кронштейн буде діяти на металеву балку:

$$M = P\left(\frac{d}{2} + l\right) = \frac{20}{\frac{0,2}{2} + 0,05} = 133,3\text{Н}. \quad (3.8)$$

Проведемо розрахунок розмірів поперечного перерізу планки на яку діятиме згин. Розрахунок проведемо на міцність.

Початково приймаємо матеріал планки Сталь 3 і профіль балки – прямокутник.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

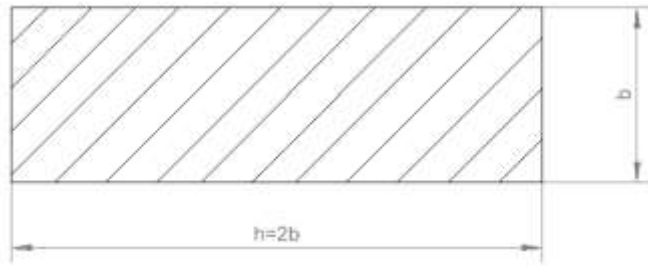


Рисунок 3.4 – Розміри планки

Розрахункова схема приведена на рис.3.5.

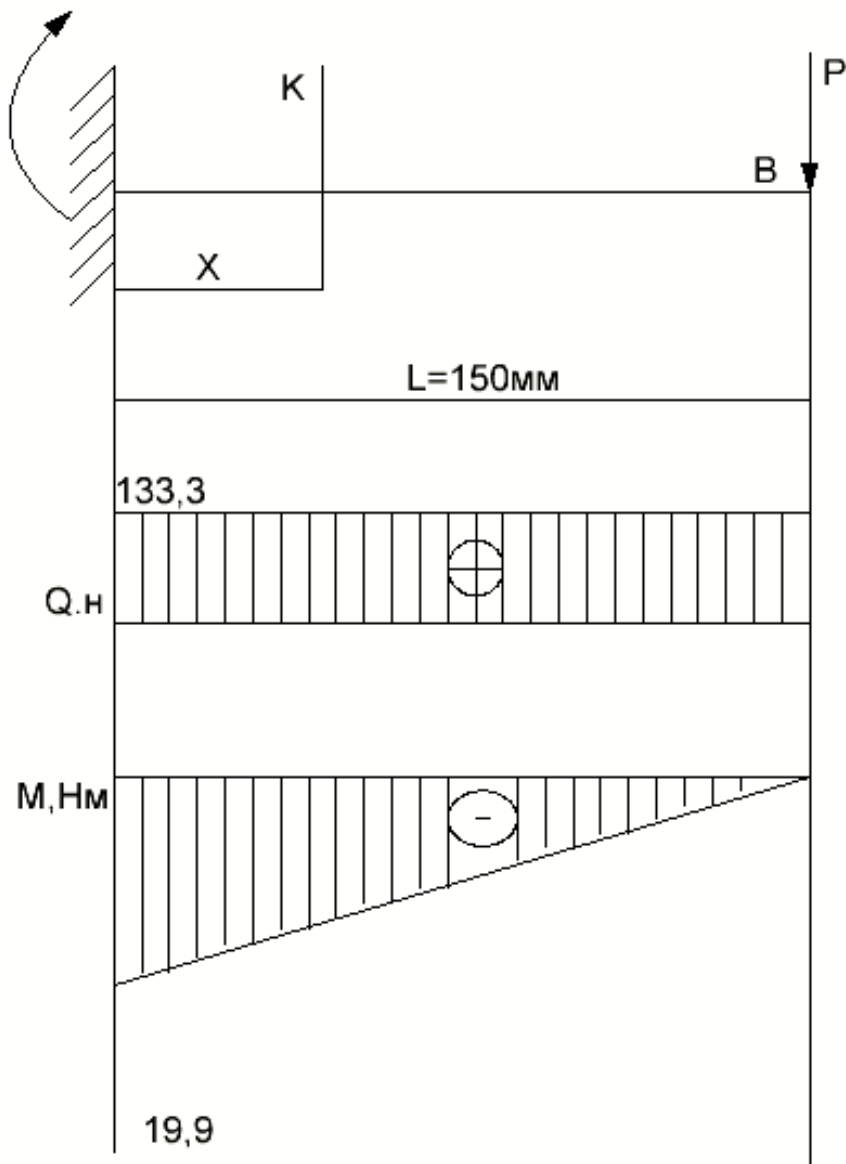


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Побудова епюри попередньої сили Q:

$$Q(x) = p = 133,3 \text{ Н}$$

Побудова епюри згинального моменту:

$$M(x) = -P \cdot KB = -P(L - x) \quad (3.9)$$

Для її побудови досить знайти дві точки на початку і в кінці ділянки.

$$\text{При } X = D: M_A = -P \cdot L = 133,3 \cdot 1,15 = 19,9 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$\text{При } X = L: M_B = 0 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

Небезпечними точками даного перерізу будуть точки найбільш віддалені від нейтральної лінії.

Для них граничне напруження визначається за формулою:

$$W_{\text{розр}} = \frac{M_{\text{MAX}}}{[\sigma]} = \frac{19,9}{160 \cdot 10^6} = 0,125 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 = 0,125(\text{см}^3) \quad (3.10)$$

де  $[\sigma]$  - межа міцності сталі 3,  $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ ;

З формули (3.10) визначаємо момент опору:

$$W = \frac{2b \cdot b^2}{b} = \frac{1}{3} b^3 \geq 0,125(\text{см}^3) \quad (3.11)$$

$$b \geq \sqrt[3]{0,375 \text{ см}} = 0,72(\text{см})$$

Вибираємо  $b = 0,75 \text{ см} = 7,5 \text{ мм}$ , тоді  $h = 15 \text{ мм}$ .

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

### 3.6 Розрахунок джерела живлення схеми

Проведемо розрахунок блоку живлення. Розрахункова схема приведена на рис.3.6 [27].

Вихідні дані:

- 1) принципова схема;
- 2) напруга електричної мережі живлення  $U = 220\text{В}$
- 3) вихідна напруга  $U_{\text{вих}}=5\text{В}$ ;
- 4) струм споживання  $I_{\text{сп}}=0,5\text{А}$ .

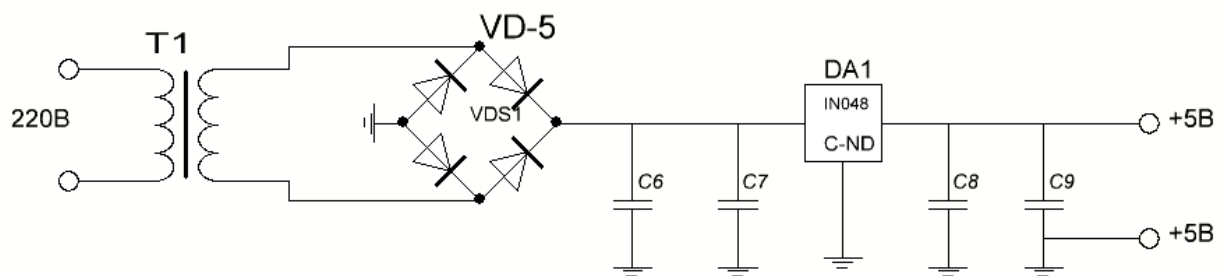


Рисунок 3.6 – Розрахункова схема блоку живлення

Розрахунок:

Вибрано схему стабілізатора DA1 типу КР142 ЕН5В.

Основні параметри стабілізатора:

- $U_{\text{вх}} = 7,5 - 15 \text{ В}$ ;
- $U_{\text{вих}} = 5 \pm 0,1 \text{ В}$ ;
- $I_{\text{мах}} = 2000 \text{ мА}$ ;
- $P_{\text{мах}} = 10 \text{ В}$ .

Значення вхідної напруги приймаємо рівним  $U_{\text{вх}}=15 \text{ В}$ .

З метою вибору типу діодів визначаємо зворотно напругу за формулою:

$$U_{\text{зв}} = 1,5 U_0, \quad (3.12)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

де

$$U_o = 1,2 U_{вх} = 1,2 \cdot 15 = 18В, \quad (3.13)$$

$$U_{зв} = 1,5 \cdot U_o = 1,5 \cdot 18 = 27В, \quad (3.14)$$

$$I_{сер} = 0,5 I_H = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25А. \quad (3.15)$$

Вибираємо діоди типу КД209А [22].

Діод типу КД209А має наступні параметри:

- $I_n = 0,7А$ ;
- $U_{зв} = 400В$ ;
- $R_i = 2 Ом$ .

В якості фільтру було вибрано конденсатори:

- С6, С8 типу К 50 – 16 – 25 електролітичні ємністю 100 мкФ
- С7, С9 типу К73 – 9 – 100 ємністю 0,1 мкФ.

Розрахунок трансформатора [28].

Визначимо опір трансформатора:

$$R_{TP} = \frac{830 U_o}{I_n \sqrt[4]{U_o I_n}} = \frac{830 \cdot 18}{500 \sqrt[4]{18 \cdot 500}} = 3,1 Ом. \quad (3.16)$$

Визначаємо напругу на вторинній обмотці:

$$U_2 = 0,75В,$$

$$U_o + \frac{I_n (2R_i + R_{TP})}{530} = 0,75 \cdot 18 + \frac{500(2 \cdot 2 + 3,1)}{530} = 13,5 + 6,7 = 20,2В, \quad (3.17)$$

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$U_o + \frac{I_n(2R_i + R_{TP})}{530} = 0,75 \cdot 18 + \frac{500(2 \cdot 2 + 3,1)}{530} = 13,5 + 6,7 = 20,2B. \quad (3.18)$$

Визначаємо струм вторинної обмотки трансформатора:

$$I_2 = 1,4 \cdot I_H + \frac{16,6 \cdot U_o}{2R_i + R_{TP}} = 1,4 \cdot 500 + \frac{16,6 \cdot 18}{2 \cdot 2 + 3,1} = 742,1mA. \quad (3.19)$$

Визначаємо струм первинної обмотки трансформатора:

$$I_1 = \frac{1,2U_2I_2}{U_1} = \frac{1,2 \cdot 20,2 \cdot 742,1}{220} = 81,8mA. \quad (3.20)$$

Визначимо потужність, що споживається трансформатором:

$$P_T = \frac{1,7U_2I_2}{1000} = \frac{1,2 \cdot 20,2 \cdot 742,1}{1000} = 25,5B \cdot A. \quad (3.21)$$

Знаходимо добуток площі осердя  $Q_c$  трансформатора на площу вікна осердя  $Q_o$  для дроту марки ПЕЛ:

$$Q_c \cdot Q_o = 1,6, \quad (3.22)$$

$$P_T = 16 \cdot 25,5 = 41cm^4.$$

Із [28] вибираємо для осердя трансформатора УШ – 22 наступні величини:

$$Q_o = 5,46 cm^2,$$

- ширина вікна  $v = 1,4 cm$ ;

- висота вікна  $h = 3,9 cm$ ;

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Тоді:

$$C = \frac{Q_c}{a} = \frac{7,51}{2,2} = 3,4 \text{ см.} \quad (3.23)$$

Визначаємо число витків первинної і вторинної обмоток трансформатора:

- $W_1$ , товщина дробу  $d$ , первинної обмотки;
- $W_2$ ,  $d_2$  – товщина дробу вторинної обмотки;

$$W_1 = \frac{48U_1}{Q_c} = \frac{48 \cdot 220}{7,51} = 1406, \quad (3.24)$$

$$W_2 = \frac{54U_2}{Q_c} = \frac{54 \cdot 220}{7,51} = 1581. \quad (3.25)$$

$$d_1 = 0,02\sqrt{I_1} = 0,02\sqrt{81,8} = 0,181, \quad (3.26)$$

$$d_2 = 0,02\sqrt{I_2} = 0,02\sqrt{742,1} = 0,54. \quad (3.27)$$

Вибраємо запобіжник при виборі основних елементів (симістора) на струм  $I_{\max} = 40$  А.

### 3.7 Висновки до третього розділу

В даному розділі здійснюються розрахунки, що підтверджують працездатність стенду. Проводиться розрахунок електричного кола світлодіода, тензометричного моста, загальної потужності споживання стендом, розмірів вимірjuвальної балки, джерела живлення схеми.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

## ВИСНОВКИ

В першому розділі проведено огляд кутошліфувальних машин та способів їх дослідження. Здійснюється огляд ринку електроінструменту України. Приводяться загальні відомості про кутошліфувальну машину. Здійснюється аналітичний огляд засобів, методів навантаження КШМ та вимірювання моменту.

На основі огляду та аналізу літературних джерел розроблені варіанти структурних схем та прийнято обґрунтоване рішення з проектування стенда та його структурної схеми.

В другому розділі здійснюється розробка стенду для дослідження кутошліфувальної машини. Проводиться розробка електричної принципової схеми вузла керування, функціональної та електричної принципової схеми електронного тахометра, загальної електричної схеми стенду. Здійснюється розробка конструкції стенду для дослідження кутошліфувальних машин.

В третьому розділі здійснюються розрахунки, що підтверджують працездатність стенду. Проводиться розрахунок електричного кола світлодіода, тензOMETричного моста, загальної потужності споживання стендом, розмірів вимірювальної балки, джерела живлення схеми.

В результаті виконання бакалаврської роботи розроблено стенд, який буде використовуватися навчальному процесі при виконанні лабораторних робіт з дисциплін «Спеціальні електричні машини» зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Електропобутова техніка».

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Аналіз ринку електроінструменту в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://pro-consulting.ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-elektroinstrumenta-v-ukraine-2021-god>.
2. Рейтинг виробників електроінструментів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://i-master.com.ua/articles/a198/>.
3. BOSCH 1772-6 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hxqjff>.
4. Makita GA4030 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hxqju>.
5. Кутошліфувальна машина DeWalt DWE4238 [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://rozetka.com.ua/ua/dewalt\\_dwe4238/p15301786/](https://rozetka.com.ua/ua/dewalt_dwe4238/p15301786/).
6. Кутошліфувальна машина Black & Decker Beg120-QS [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hxqla>.
7. Metabo 603624420 WP [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hxqmh>.
8. AG 180-P Кутошліфувальна машина [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hxqnj>.
9. Кутова шліфувальна машина. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/ibqaw>.
10. Azuma M. Kurata M. Thyristors / Works of electrical engineers and radio electronics engineers. Vol. 76, No. 4. USA, 1988.
11. Електропривод: Підручник/Ю.М. Лавріненко, О.С, Марченко, П.І. Савченко. – К.: Ліра-К. 2009. – 504с.
12. Визначення структурних схем [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/ibqni>.
13. Регулювання швидкості обертання і реверсування асинхронних електродвигунів [Електронний ресурс]. Режим доступу:

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

<https://budtehnika.pp.ua/1658-regulyuvannya-shvidkost-obertannya-reversuvannya-asinhronnih-elektrodivgunv.html>.

14. Електропривод. Структура і загальні відомості [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/ibrmt>.

15. Василега П.О. Електропривод робочих машин : підручник / П.О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 290 с.

16. Видмиш А. А. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1 : навчальний посібник / А.А. Видмиш, Л.В. Ярошенко. – Вінниця : ВНАУ, 2020. – 387 с.

17. ДСТУ 2313-93. Електроприводи. Терміни та визначення. 18. Зеленов А. Б. Теорія електропривода. Методика проектування електроприводів : Підручник / А. Б. Зеленов. – Луганськ : Видавництво «Ноулідж», 2010. – 670 с.

19. Клименко Б. В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник / Б. В. Клименко – Харків: «Точка», 2012. – 340 с. 20. Електричні схеми – види, призначення [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vse-e.com/ua/novosti/elektricheskie-shemy-vidy-naznachenie>.

21. Огляд тахометричних перетворювачів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/3904792/>.

22. Елементна база радіоелектронної апаратури: Пасивні радіокомпоненти В 4 ч. Ч.1. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.О.Піддубний, І.О.Товкач. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 98 с.

23. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник / За ред. Ю.Л.Мазора, Є.А.Мачуського, В.І.Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.

24. Сулима В.С. Електрорадіоматеріали: навчальний посібник. / В.С.Сулима. Укр. інж.-пед. акад. – Харків: УПА, 2010. – 128 с. 25. Швець

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Є.Я. Матеріали і компоненти електроніки: навч. посібник / Є.Я.Швець, І.Ф.Червоний, Ю.В.Головко – Запоріжжя, ЗДІА, 2011. – 278 с.

26. Що таке тензодатчик і як він працює [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://obrii.com.ua/main/19502-shho-take-tenzodatchik-i-yak-vin-pratsyuue.html>.

27. Розрахунок потужності блоку живлення [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://softik.net.ua/rozrahunok-potuzhnosti-bloku-zhyvlennya/>.

28. Розрахунок обмоток трансформатора [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://moehobi.com/rozrahunok-obmotok-transformatora/>.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

# ДОДАТОК А

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		