

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


КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка стенда для дослідження потужного електропривода постійного струму побутової техніки

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

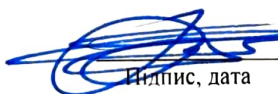
Рожанський М.О.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

д.т.н., проф. Білий Л.А.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

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

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

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

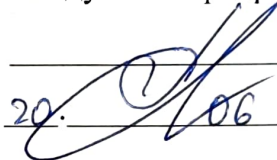
20 06 2023 р.

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 **Рожанський Максим Олександрович** Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка стенда для дослідження потужного електропривода постійного струму побутової техніки**
керівник роботи **Білий Л.А., д.т.н, професор**

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

Затверджено наказом ректора університету від 1 03 2023 р. № 5

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 20.06.23 р.

3. Вихідні дані до роботи: **технічні характеристики електроприводів постійного струму**

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

1 **Огляд існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи**

2 **Розробка стенду для дослідження потужного електроприводу постійного струму**

3 **Розрахунки, що підтверджують працездатність стенду для дослідження електроприводу постійного струму**

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

Аркуш 1. **Електроприводи. Док. оглядовий (A1).** Аркуш 2.

Електропривод ЕПУ2-1...М. Схема функціональна (A1). Аркуш 3.

Електропривод ЕПУ2-1...М. Схема електрична принципова (A1). Аркуш 4.

4. **Стенд для дослідження потужного ЕП постійного струму побутової техніки. Документ ілюстраційний (A1).**

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання 25.05.23р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

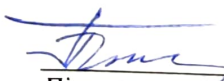
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1 Огляд існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	05.06.23р.	
2 Розробка стенду для дослідження потужного електроприводу постійного струму	10.06.23р.	
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність стенду для дослідження електроприводу постійного струму	20.06.23р.	

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 **Рожанський Максим Олександрович**

2. Тема бакалаврської роботи

Розробка стенда для дослідження потужного електропривода постійного струму побутової техніки

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

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 4 арк., сторінок записки 62

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки:

1 Аналіз напрямків розвитку сучасного холодильного обладнання

2 Розробка конструкції холодильного агрегату з електромагнітним клапаном

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції удосконаленого холодильного агрегату

Висновки

Перелік джерел посилання

Підпис студента _____

"26" 06 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №2 від "28" 06 2023 р.

Оцінка проекту ЕК добре 4.0/5

Рекомендації ЕК в подальшому процесі





Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____

"28" 06 2023 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Огляд існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	8
1.1 Короткі відомості про двигуни постійного струму, що використовуються в електроприводах (ЕП)	8
1.2 Огляд електроприводів постійного струму	14
1.3 Функціональна схема електроприводу типу ЕПУ2-1...Е	29
1.4 Висновки до першого розділу	31
2 Розробка стенду для дослідження потужного електроприводу постійного струму	32
2.1 Розробка функціональної схеми стенду для дослідження електроприводу постійного струму	32
2.2 Розробка електричної принципової схеми стенду для дослідження електроприводу	33
2.3 Розробка конструкції стенду для дослідження електроприводу постійного струму	41
2.4 Розміщення і монтаж стенду	43
2.5 Підготовка стенда до роботи	44
2.6 Запуск електроприводу стенду	45
2.7 Робота електроприводу з навантаженням	45
2.8 Висновки до другого розділу	46
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність стенду для дослідження електроприводу постійного струму	47
3.1 Розрахунок параметричного однокаскадного стабілізатора напруги на +15 В	47

БРМА23.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Рожанський		
Перевір.		Білий		
Н.контр.				
Затвер.		Поліщук		
Розробка стенда для дослідження потужного електроприводу постійного струму побутової техніки			Літера	Аркуш
			б	4
			ХНУ ір ЕТс-20-2	
			Аркушів	62

3.2	Розрахунок параметричного однокаскадного стабілізатора напруги на +10 В	49
3.3	Розрахунок джерела синхронізуючої напруги	51
3.4	Розрахунок керованого тиристорного випрямляча	53
3.5	Розрахунок трансформатора	55
3.6	Висновки до третього розділу	58
	Висновки	59
	Перелік джерел посилання	60
	Додаток А	

ВСТУП

Електричний привід (ЕП) є енергетичною основою технологічних та виробничих процесів, що реалізуються за рахунок механічної енергії. Приводячи в рух виконавчі органи (ІВ) робочих машин і механізмів та керуючи цим рухом із заданою якістю, ЕП забезпечує видобуток корисних копалин, виготовлення та обробку різних виробів та матеріалів, переміщення людей та вантажів, та виконання багатьох інших технологічних операцій з найкращими технічними та економічними показниками.

Більше 60% електроенергії, що виробляється в країні, споживається електричним приводом. Чим же визначається чільне місце електричного приводу серед інших можливих видів приводу – теплового, гідравлічного та пневматичного.

Пояснюється це цілою низкою його переваг:

- найбільш економічним перетворенням електричної енергії на механічну;
- можливістю виготовлення електродвигунів на найрізноманітніші потужності та швидкості руху. Діапазон потужності сучасного електроприводу коливається від сотих часток вата до десятків тисяч кіловат, а межі швидкості обертання – від часток обороту валу за хвилину до кількох сотень тисяч обертів за хвилину;
- високим ККД електроприводу, надійністю в експлуатації, сприятливими умовами для обслуговуючого персоналу, відсутністю забруднення навколишнього середовища;
- можливістю створення електроприводів для роботи в найрізноманітніших умовах - у воді, серед агресивних рідин і газів, при низьких і високих температурах і т.п.;
- різноманітністю конструктивного виконання електродвигунів, що дозволяє раціонально з'єднувати приводи з виконавчим органом робочої машини;

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

- можливістю за допомогою простих засобів реалізувати різноманітні та складні види руху виконавчих органів робочих машин, а також змінювати напрямок руху та його параметри – швидкість, прискорення;

- легкістю автоматизації виробничих та технологічних процесів.

Можливості використання сучасних ЕП продовжують постійно розширюватись.

Розвиток наукових і технічних тенденцій у галузі сучасного електропривода й електричних машин, у тому числі й у галузі побутової техніки, зумовлює неупинне зростання складності завдань, що вирішуються, підвищення вимог до якості їх виконання, до надійності та техніко-економічних показників, розширення сфери застосування керованого електропривода та відповідних систем автоматизації. Прикладом цього в галузі побутової техніки може слугувати впровадження досить складних систем програмного керування пральних машин, цифрових автоматів тощо [1-2].

Підвищення надійності, якості виробництва, техніко-економічних показників систем електропривода зумовлює розширення сфери застосування електроприводів із двигунами змінного струму, впровадження систем керування на основі безконтактних логічних пристроїв, напівпровідникової цифрової електронної техніки та ін. [1, 3].

Потреби удосконалення технічних характеристик регулюючих і слідкуючих електроприводів призвели до розробки спеціальних ДПС. Загальними особливостями двигунів для слідкуючих приводів є можливість тривалої роботи на малих швидкостях при повному моменті, що потребує спеціальних заходів для їх охолодження, а також можливість багатократним перевантаженням по струму в перебіг невеликого часу, що пов'язано з необхідністю досягнення високої швидкодії приводу.

Питання розробки стендів для дослідження електричних двигунів постійного струму є актуальною задачею.

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

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Короткі відомості про двигуни постійного струму, що використовуються в електроприводах (ЕП)

Електропривод з тиристорним перетворювачем і двигуном постійного струму на сьогодні є основним типом привода електропобутової техніки. В силу цілого ряду експлуатаційних переваг такий привод практично витіснив гідравлічний регульовальний привод, а також електрогідравлічний привод на основі крокових двигунів. Основні характеристики вказаного електропривода визначаються головним чином типом ДПС, що використовується [1, 4-16].

Основною перевагою двигунів постійного струму, що визначає їх широке використання в регульованих і слідкуючих приводах, є висока лінійність механічних характеристик, яка дозволяє регулювати плавно частоту обертання вала електродвигуна в широких межах (діапазон регулювання частоти обертання сучасних ДПС складає більше чим 10 000 обертів за хвилину).

До недоліків ДПС, у порівнянні з асинхронними електродвигунами змінного струму, відносять великі габарити, менший коефіцієнт корисної дії, потреба в щітках і колекторі для підводу струму в обмотку якоря. Останнє істотно знижує їхню перевантажувальну здатність через ряд обмежень, що пов'язані з процесами комутації і небезпекою утворення кругового вогню на колекторі [4-8]. Незважаючи на ці недоліки, двигуни постійного струму продовжують удосконалюватись в напрямку підвищення швидкодії і збільшення перевантажувальної здатності, підвищення коефіцієнта корисної дії, рівномірності обертання на малих швидкостях тощо [1].

Потреби удосконалення технічних характеристик регулюючих і слідкуючих електроприводів призвели до розробки спеціальних двигунів постійного струму. Загальними особливостями таких двигунів для слідкуючих

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

приводів є можливість тривалої роботи на малих швидкостях при повному моменті, що потребує спеціальних заходів для їхнього охолодження, а також можливість багатократних перевантажень по струму на протязі невеликого часу, що пов'язано з потребою досягнення високої швидкодії приводу [4-16].

Були розроблені також спеціальні малоінерційні електричні двигуни з гладким якорем серії ПГ (ПГТ – із вмонтованим тахогенератором). Зменшення моменту інерції, отже і постійного часу (в 5-6 раз менше, чим у звичайних) досягається за рахунок діаметра і збільшення довжини самого якоря. Якор такого двигуна має безпазову конструкцію. Провідники обмотки якоря із міді прямокутного перерізу наклеюються на гладку зовнішню поверхню якоря (шихтованого із тонких сталевих кругів), закріплюються склотканиною і заливаються смолою епоксидною. Така конструкція обмотки забезпечує малу індуктивність якорного кола, що дозволяє забезпечити жорстку комутацію струму при великих навантаженнях електродвигуна. Безпазова конструкція дозволяє також, при відповідному розподіленні обмотки на поверхні якоря, виключити імпульси моменту, що звичайно є при вході пазів в смугову зону і виходу з неї. Збільшення перевантажувальної здатності таких електродвигунів сприяє хорошему охолодженню обмотки якоря, яка розміщена на його поверхні, що забезпечується за рахунок вимушеної вентиляції. Електродвигуни з гладким якорем забезпечують обробку максимальних прискорень порядку $(2\div 6) \cdot 10^4$ рад/с². Проте через складність виготовлення, високу собівартість і малу надійність такі двигуни не знайшли широкого використання [1].

Більшого застосування для електроприводів набули високомоментні електродвигуни із збудженням від постійних магнітів (ВМД). Відносно малі значення номінальної частоти таких електродвигунів (500-1000 об/хв) і здатність тривалої роботи на малих обертах з великими моментами дозволяє обходитись без редукторів і зв'язувати такий двигун безпосередньо із ведучим гвинтом робочого органу. При цьому значно покращується надійність і точність роботи.

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

Головні конструктивні особливості ВМД наступні [1]:

- збільшене число пазів якоря і число колекторних пластин;
- збудження здійснюється від високоенергетичних магнітів;
- посилена конструкція вала і підшипників;
- використання ізоляційних матеріалів з високою допустимою температурою;
- уже сточена конструкція корпусу;
- використання спеціальних щіток з великою перевантажувальною здатністю;
- підвищене відношення довжини якоря до його діаметра;
- велике значення електромагнітного моменту руху.

Зазвичай, ВМД виготовляються із вмонтованими:

- датчиком переміщення високої точності;
- тахогенератором (з малим рівнем пульсацій при малих частотах обертання),
- електромагнітним гальмом.

Дуже важливо для підвищення якості і стійкості слідкуючого привода це відсутність люфтів в з'єднаннях двигуна і датчиків швидкості і переміщення, що забезпечується в ВМД наявністю вмонтованого тахогенератора і резольвера.

Високомоментні електричні двигуни мають наступні технічні характеристики [1, 17, 18]:

- відносно малу номінальну (до 1000 об/хв) і максимальну частоти обертання (до 1500-2000 об/хв);
- високий перевантажувальний момент (6-10 кратні) при малих частотах із значним їх зменшення (1,5-3 кратні) при номінальних і особливо максимальних частотах обертання;
- велику термічну постійну часу (60-120 хв);
- можливість забезпечення рівномірного обертання якоря на малих швидкостях (до 0,1 об/хв);

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

- момент інерції ВМД, що порівнюється з моментом двигуна постійного струму нормального виконання.

Необхідність значного зниження допустимого максимального моменту по мірі збільшення частоти обертання пов'язана з погіршенням комутації в електродвигуні при відсутності додаткових полюсів. В такому випадку потрібно використовувати нелінійні схеми струмообмеження.

Електричні двигуни серії ПВ призначені для використання в приводах із керуванням від тиристорних або транзисторних перетворювачів. Конструктивно електродвигуни даної серії мають фланцеве виготовлення і допускають експлуатацію при будь-якому положенні в просторі [1].

Для електродвигунів ПВ допустиме в межах 1 хв перевантаження по струму на 50% понад номінальної, а в межах 0,2 с можливий струм, відповідний струму максимального пускового моменту, в межах 3-х хв підвищення частоти обертання на 30 % понад максимальну.

Залежність між величиною обертового моменту і струму якоря $M=f(I_n)$ практично лінійна до $M=0,7-0,8M_{max}$. Допускається тривалість роботи електричних двигунів при частоті обертання $0,1 \text{ хв}^{-1}$ з моментом не менше номінального, при цьому нерівномірність обертання моменту не повинна перевищувати 6-8%.

Електродвигуни серії ПВ комплектуються тахогенератором ТС-1М із наступними технічними характеристиками:

- опором навантаження, не менше – 4 кОм;
- опором обмотки якоря при 15 °С, – 138 Ом;
- крутизною вихідної характеристики – 0,02 В/об/хв;
- індуктивністю обмотки якоря – 0,6 Гн.

Датчик положення типу ПМБ-1, яким комплектуються електродвигуни серії ПВ, мають наступні технічні характеристики:

- число фаз – 2;
- число пар полюсів – 10,

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

- напруга живлення - $5 \pm 0,25$ В;
- зсув фаз джерела живлення, – 0 або 90 ел. град.;
- струм, що споживається, не менше – 10 мА;
- частота живлення – 50 Гн;
- вихідна напруга при опорі навантаження 10 кОм, – 0,5 В;
- похибка в статичному режимі при опорі навантаження 10 кОм – не більше 20.

Такі технічні характеристики мають електричні двигуни серії ПВ електромагнітних гальм серії ЕТДВ із напругою живлення 24 В (на ЕТДВ41У3 – 110 В).

Двигуни серії ПВ комплектуються температурним датчиком, що забезпечує подачу сигналу в електричне коло управління при недопустимих для ізоляції перегрівів.

Електричні двигуни серії ПВ без гальма і датчика положення характеризуються наступними показниками надійності:

- середній термін роботи – не менше 15 років;
- середній ресурс роботи електродвигуна – не менше 20 000 годин;
- наявність безвідмовної роботи за період 10000 годин складає не менше 0,9 при довірчій вірогідності 0,8.

Електричні двигуни серії КД1 призначені для експлуатації в групі слідкуючо-регулювальних електричних приводів (переважно типу ПРП). Електродвигуна мають

- ступінь захисту IP44 по ГОСТ 14254-69 (закриті),
- фланцеве виготовлення М300 по СТ СЕВ 246-76,
- природне охолодження і допускають експлуатацію при різному положенні в просторі.

Конструкція ВМД серії КД1 близька до конструкції ВМД серії ПВ, при зменшені діаметра якоря, настільки це можливо, з метою максимального пониження моменту його інерції.

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

Збудження виникає від постійних литих магнітів із сплаву ЮНДК35Т5, забезпечуючи підвищену (до 0,6 Т) індукцію в повітряному зазорі і зниження діаметра і моменту інерції електричного двигуна. Виконання індуктора – чотирьох полюсне.

Електродвигуни серії КД1 можуть знаходитись у загальмованому стані при нормальному струмі не більше 3 год, а в межах 1 хв витримувати 1,5 кратне перевантаження по струму. Допускається робота електричного двигуна в межах 2 хв при підвищені до 2000 об/хв частоти обертання при номінальному моменті [1, 4-8].

Електродвигуни серії КД1 мають наступні показники надійності:

- мінімальне напрацювання із заміною щіток в процесі експлуатації – 16 000 годин;
- строк роботи з врахуванням строку зберігання – 12 років.

В комплект двигуна можуть входити:

- гальмо типу ЕТДВ12У3;
- тахогенератор типу ТГ1;
- датчик положення типу ПМБ-1.

Технічні характеристики тахогенератора ТГ1 наступні:

- опір навантаження – 2000 Ом;
- крутизна вихідної характеристики – $0,03 \pm 0,0015$ В/об/хв.;
- частота обертання – 1000 об/хв.;
- момент інерції ротора тахогенератора не перевищує $0,4 \cdot 10^{-3}$ кг·м².

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

1.2 Огляд електроприводів постійного струму

1.2.1 Електропривод типу БТУ3601

Тиристорний перетворювач БТУ3601 призначений для регулювання швидкості обертання звичайних електричних двигунів постійного струму з незалежним збудженням, так і високомоментних двигунів (рис.1.1) [1, 19].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд електроприводу БТУ3601

Силова частина перетворювача складається із двох трьохфазних мостових комплектів тиристорів, що працюють по принципу роздільного керування. Підключення перетворювачів до силової електричної мережі відбувається через погоджувальний трансформатор.

Керування швидкістю обертання здійснюється двоконтурною системою автоматичного регулювання із ПІ- регуляторами струму і швидкості [1, 19].

Для підвищення термостабільності і збільшення діапазона регулювання електричного привода використовується попередній підсилювач регулятора швидкості, що виконаний по схемі модулятор – підсилювач – демодулятор.

Перетворювач складається із двох друкованих плат Е1 і Е2 (рис.1.2).

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

Плата Е1 вміщує функціональні вузли, необхідні для управління безперервним електричним приводом:

- регулятор швидкості і струму (РШ і РС);
- систему імпульсно-фазового управління (СІФУ);
- нелінійне ланка (НЛ);
- функціональний перетворювач електрорушійної сили двигуна (ФПЕ);
- блок живлення (БЖ);
- вузол захисту і блок (ВЗ і Б).

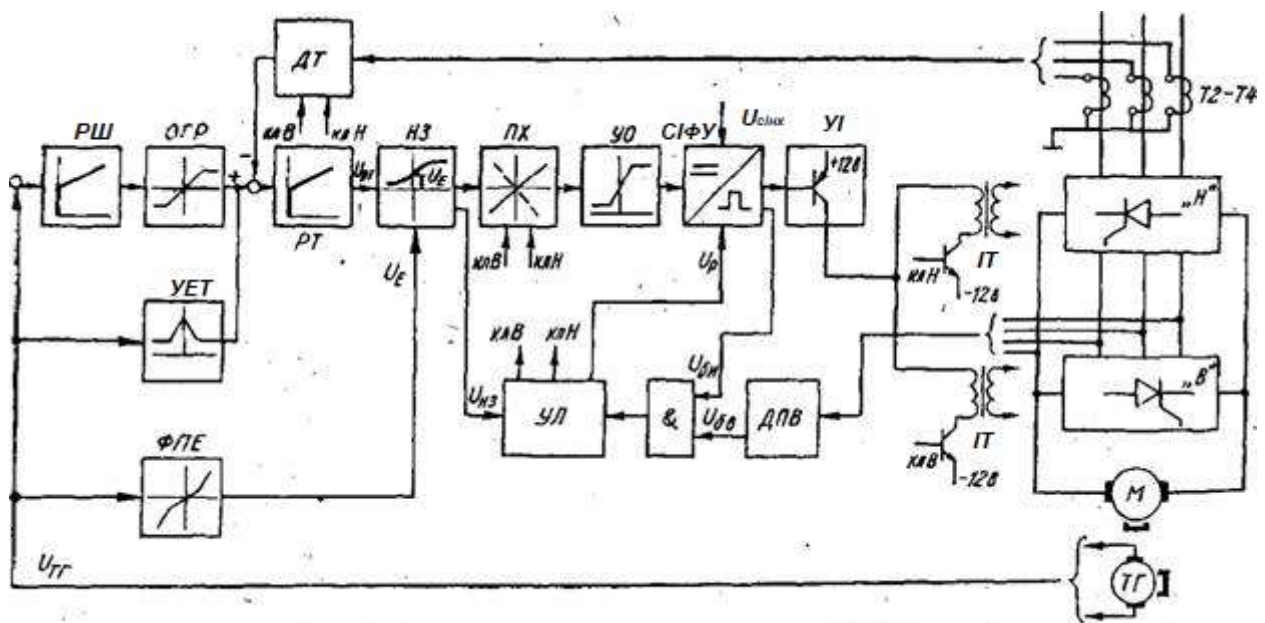


Рисунок 1.2 – Структурна схема електричного приводу БТУ3601

Плата Е2 виконується в двох модифікаціях в залежності від діапазону регулювання швидкості. Для діапазону регулювання 1:10000 плата Е2 включає наступні функціональні вузли [1, 19]:

- попередній підсилювач регулятора швидкості ППРШ;
- вузол залежного від швидкості струмообмеження ВЗС.

Для діапазону регулювання 1:10000 з плати Е2 виляється вузол ППРШ.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Вихідна напруга регулятора швидкості РШ обмежується рівнем насичення операційного підсилювача і за допомогою змінного резистора дільника, що підключений до виходу підсилювача, може плавно регулюватися, задаючи встановлений струм обмеження. Паралельно вузлу обмеження струму під'єднаний вузол залежний від швидкості струмообмеження, який здійснює додаткове обмеження струму у функції швидкості. Регулятор струму формує напругу, пропорційну різниці сигналів задавання на струм і негативному зворотному зв'язку по струмові.

При переключенні комплектів тиристорів В і Н одночасно ключами В і Н проходить зміна полярності вихідної напруги датчика струму для зберігання негативного знаку зв'язку по струмові [1, 19].

Нелінійна ланка додає вихідну напругу регулятора струму $U_{рт}$, пропорційну струму двигуна, і напруги U_E зворотного зв'язку по ЕРС із різними коефіцієнтами передачі. Коефіцієнт передачі НЗ по входу $U_{рт}$ є нелінійним, маючи залежність, зворотному коефіцієнту передачі тиристорного перетворювача в зоні переривистого струму. Коефіцієнт передачі НЗ по входу U_E є постійним.

Сигнал U_E формується функціональним перетворювачем ЕРС, що має характеристику, близьку до арксинусної, тобто зворотну регульовальній характеристиці тиристорного перетворювача. Цим здійснюється приведення сигналу тахогенератора, пропорційного електрорушійній силі електричного двигуна, до входу СІФУ.

Різноплярна напруга управління U_k нелінійної ланки перетвориться перемикачем характеристик в однополярну. Таким чином, в статичному режимі роботи приводу на орган керуючого СІФУ, подається тільки негативна полярність напруги, незалежно від комплекту тиристорів, що працюють [1, 19].

Орган управляючого СІФУ, забезпечує обмеження мінімального і максимального кутів регулювання, встановлення початкового кута регулювання. СІФУ виробляє імпульси управління для тиристорів. Фазове

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

зрушення імпульсів щодо силової напруги на тиристорах пропорційне напрузі, що поступає на СІФУ від УО. Підсилювачі імпульсів погоджують по потужності вихід СІФУ з імпульсними трансформаторами. Окрім цього, на УО проходить здвоювання імпульсів.

Логічний пристрій роздільного управління застосовується для формування сигналів кл. У і кл. Н, керувачів ключами В і Н в датчику струму, перемикачі характеристик і кола імпульсних трансформаторів.

Командою для УЛ на перемикання комплектів є зміна полярності сигналу $U_{нз}$, що пропорційний напрузі $U_{рт}$ і коефіцієнту передачі НЗ.

Контроль відсутності струму через тиристори здійснюється датчиком провідності вентилів [1, 19].

Елемент І здійснює логічне множення блокувальних сигналів $U_{бх}$ і $U_{бв}$ і має на виході логічний сигнал одиничного рівня в той проміжок часу, коли відсутні струм через тиристор і керуючий імпульс на тиристорі.

При появі команди на перемикання комплектів (напруга $U_{нз}$ змінила знак) і наявності на виході елемента І сигналу одиничного рівня УЛ формує сигнал $U_p=0$ нульового рівня, що запускає елемент відліку витримки часу. На період витримки часу, імпульсні трансформатори обох комплектів знаходяться у відключеному стані, додатково сигнал $U_p=0$ забороняє формування імпульсів управлінь в СІФУ. Після закінчення витримки часу проходить підключення імпульсних трансформаторів до заданого комплекту, одночасно сигналом $U_p=1$ вирішується формування імпульсів в СІФУ.

Силова частина [1, 19].

Реверс випрямленої напруги досягається за рахунок антипаралельного з'єднання двох трьохфазних мостових комплектів тиристорів. При роботі одного комплекту прилад логіки забороняє подачу імпульсів керування на іншій.

Специфікою роботи трьохфазної керованої мостової схеми випрямлення у області переривистого струму є потреба формування здвоєних імпульсів для керування тиристорами. Один імпульс керування пари визначає кут відкриття

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

тиристора в позитивній напівхвилі, другої - в негативній напівхвилі фазної напруги. Зрушення між парами імпульсів на тиристорах протифаз моста - 180 електричних градусів, на тиристорах однієї групи (анодною або катодною) - 120 електричних градусів.

В мостовій схемі повинні одночасно знаходитися в провідному стані мінімум два тиристори. Напруга на анодах у них зсунута щодо один одного на 60 електричних градусів. Тому, щоб спочатку отримати провідну кількість тиристорів, потрібно хоч б на один тиристор подати два зрушення на 60 електричних градусів імпульси. Для безперервного режиму цей струм буде достатнім, щоб всі в подальшому вступаючи в роботу тиристори підтримували провідний стан перетворювача при управлінні ними одиночними імпульсами, оскільки в режимі безперервного струму включений раніше тиристор знаходиться в провідному стані до приходу імпульсу на наступний тиристор. В області переривистого струму перетворювач починає і припиняє роботу шість разів за період, а кожен тиристор двічі, тому здвоєні імпульси необхідно подавати на всі тиристори [1].

1.2.2 Електропривод типу ЕТ6

Електричний привод постійного струму серії ЕТ6 призначений для регулювання частоти обертання двигуна постійного струму в широкому діапазоні і застосовується як привод подачі металорізальних верстатів (рис.1.3) [1, 20]. Привод складається з тиристорного перетворювача ТП, електричного двигуна постійного струму з вбудованим тахогенератором, силового погоджувального трансформатора ТС, струмообмежувальних дроселів РТП і задатчика частоти обертання. Як ДПТ у складі приводу ЕТ6 можуть використовуватися електричні двигуни типів: 2П, ПБСТ, ПГТ і ПБВ. Приводи ЕТ6 забезпечують роботу у всіх 4 квадрантах механічної характеристики при зміні управляючої напруги в межах ± 10 В.

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

Електричний привод конструктивно є комплектним пристроєм, що виконаний у відкритому виконанні (ступінь захисту IP00). Тиристорний перетворювач призначений для розміщення в шафі і має блочну конструкцію, яка забезпечує оперативну заміну блоків, а також можливість ремонту або заміни окремих елементів [1, 20].



Рисунок 1.3 – Електричний привод ET 6

Будова і опис роботи привода

Привод виконаний по двоконтурній структурі регулювання з регуляторами струму РС і швидкості РШ. РС і РШ є ПІ - регуляторами. Робота електричного приводу проходить наступним чином (рис.1.4).

За наявності розузгодження за швидкістю ΔU_1 між сигналами завдання $U_{зад}$ і зворотному зв'язку по частоті обертання $U_{тг}$ на виході РШ з'являється керуюча напруга $U_{рс}$, яка порівнюється з напругою $U_{дт}$, пропорційною поточному значенню струму якоря електричного двигуна. Напруга розузгодження по струму ΔU_2 поступає на вхід РС, що викликає появу на його виході відповідної управляючої напруги $U_{рт}$, яка управляє системою імпульсно - фазового керування СІФУ. СІФУ забезпечує формування в розподіл імпульсів управління силовими тиристорами управляючого випрямляча КВ. СІФУ і КВ входять до складу тиристорного перетворювача ТП [1, 20].

або їх обриву, зникнення напруги стабілізованого джерела живлення і т.п. [1, 20].

Трьохфазний трансформатор Т13 здійснює узгодження напруги електричного двигуна з напругою мережі живлення і вміщує первинну, дві силові вторинні обмотки і окрему обмотку для живлення ланцюгів керування. Обмотка управління відокремлена від силових обмоток екраном. Первинна обмотка з'єднана в трикутник, вторинні - в шести фазну зірку з кульовим виводом, обмотка управління - в зірку.

Випрямляч виконаний на тиристорах VS1-VS12. Для захисту тиристорів від перенапружень включені захисні RC - ланцюги. Управління групами тиристорів сумісне узгоджене. Для обмеження зрівнюючого струму застосовуються дроселі L1 і L2 [1, 20].

1.2.3 Електропривод типу «Мезоматік»

Приводи типу «Мезоматік» бувають з одно-, двох- і трьохосьовим виконанням [1, 21]. Загальний вигляд електричного приводу «Мезоматік» представлено на рис.1.5.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд електроприводу «Мезоматік»

Типорозміри приводу охоплюють ряд номінальних моментів електричних двигунів від 10 до 125 Нм.

У комплект приводу входять [1, 21]:

- тиристорний перетворювач типу RTT;
- високомоментний двигун постійного струму типу 3SHAT з вбудованими тахогенератором, резольвером і електромагнітним гальмом;
- зрівняльні дроселі типу *LJE*;
- силовий трансформатор типу TNC, загальний незалежно від числа координат;
- комутаційні дроселі типу *LTE*.

В разі одно координатного виконання комутаційний дросель не поставляється.

Тиристорний перетворювач конструктивно виконаний на єдиній рамі, що вимагає додаткового обслуговування.

Опис роботи перетворювача [1, 21].

Перетворювач виконаний по одноконтурній схемі керування тільки з регулятором швидкості. Характерною особливістю електричного приводу є робота в зоні переривистих струмів при навантаженні навіть до номінального струму у всьому діапазоні частот обертання, що виключає вплив електромагнітної постійної часу i , як наслідок, дозволяє створити просту одно контурну схему без регулятора струму.

Управління приводом - узгоджене нелінійне в зоні робочих частот обертання і роздільне в зоні прискорених переміщень.

Блок-схема приводу «Мезоматік» приведена на рис.1.6 [1, 21].

В блок-схему входять: ІНВ – інвертор; РШ – регулятор швидкості; СІФУ - схема імпульсно-фазного управління; БНСО – блок нелінійного струмо обмеження; ТР – силовий трансформатор; ТП – тиристорний перетворювач; $L_{\text{ком}}$ - комутаційний дросель; $L_{\text{зр}}$ – зрівнюючий дросель; М – електричний двигун;

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

ТГ – тахогенератор; Г – електромагнітне гальмо; Р – резольвер; БЖ – блок живлення.

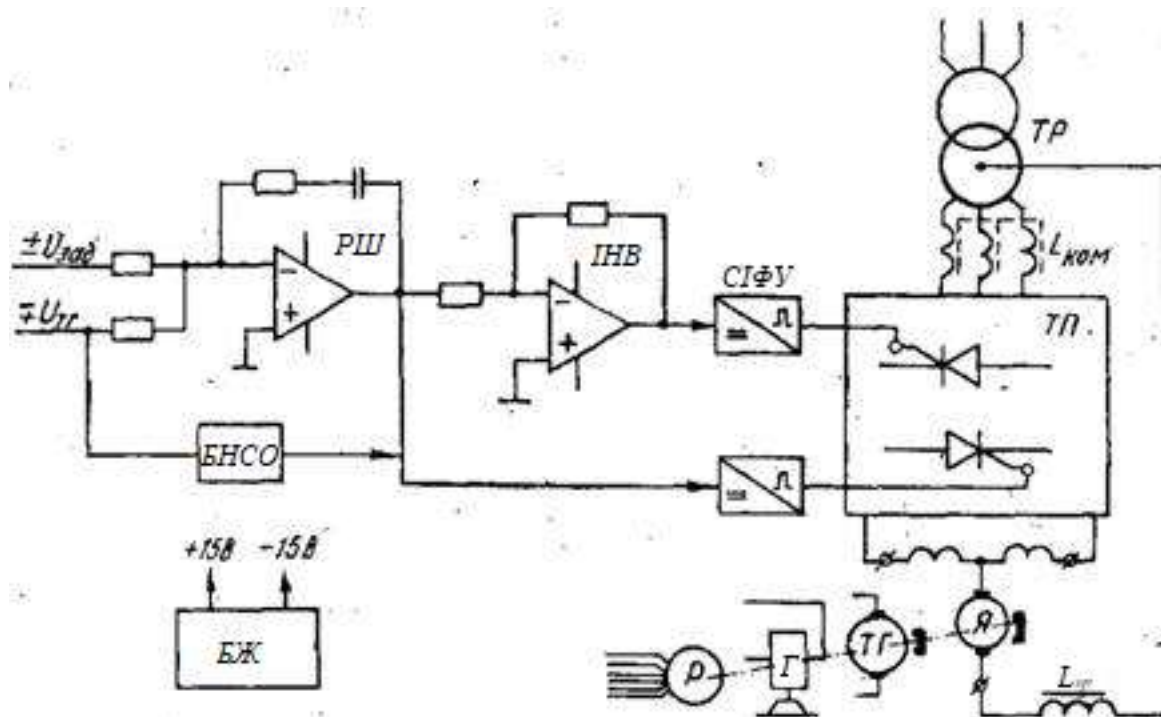


Рисунок 1.6 – Блок-схема електричного приводу Мезоматік

Силова схема виконана по реверсній трьох імпульсній одно напівперіодній схемі випрямлення.

Навантаженням перетворювача є спеціальний високомоментний електричний двигун постійного струму із збудженням від постійних магнітів типу «Альніко», який володіє високими перевантажувальними властивостями. Електродвигун має дві додаткові обмотки, що здійснюють його підмагнічування. По даній причині він має три виходи: загальний А2 (червоного кольору) та роздільні 1Д (чорний) і 2Д (білий). Переключення останніх недопустимо. В такому випадку відбудеться розмагнічення електродвигуна. При потребі зміни напрямку обертання електродвигуна при незмінній полярності задаючої напруги виконується переключення каналів СІФУ [1, 21].

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

Силовий трансформатор включений по схемі «трикутник – зигзаг», що, в свою чергу, дозволяє виключити потік примусового намагнічування і дає економію в перерізі магнітопроводу. Комутаційні дроселі виключають вплив дротів один на одного у випадку багато координатного виконання при роботі від одного з силового загального трансформатора. Вмонтоване електромагнітне гальмо призначене тільки для роботи у аварійних випадках [1, 21].

1.2.4 Електричний привод типу «Кемрон»

Електричні приводи типу «Кемрон» знаходять широке використання в приводах подачі металорізальних верстатів завдяки високим статичним і динамічним характеристикам, а також великій кількості типорозмірів (від 1,5 Нм до 170 Нм) (рис.1.7) [1, 22].



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд приводу «Кемрон»

У комплект приводу входять [1, 22]:

- тиристорний перетворювач;
- силовий трансформатор;

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

В блок-схему даного приводу входить: ІНВ - інвертор; РШ - регулятор швидкості; РС - регулятор струму; АР - адаптивний регулятор; РЗС - регулятор зрівняльного струму; СІФУ - система імпульсно - фазового керування; ФП - функціональний перетворювач нелінійного струмообмеження; КЗ - коректуюча ланка; ПЕ - пороговий елемент; НТО - нелінійне струмообмеження; ОС - захист від перевищення максимального струму; OS - захист від перевищення максимальної частоти обертання; OL - захист від тривалого перевантаження; TG - захист від обриву ланцюга тахогенератора; БЗ - блок захисту; СР - захист від обриву фази і неправильного чергування фаз; ТР - силовий трансформатор; ТГ - тахогенератор; ТП - тиристорний перетворювач; М - двигун; L - зрівняльні дроселі; S_h - шунт (датчик струму); БЖ - блок живлення [1, 22].

Силова схема виконана по реверсивній шести пульсній одно напівперіодній схемі випрямлення із порівняльними дроселями. Така схема забезпечує високу смугу пропускання приводу (до 40 Гц) і високі динамічні властивості, що в свою чергу виправдовує її підвищену складність.

Силовий трансформатор здійснює узгодження напруги електричного двигуна з напругою електричної мережі живлення. Обмотки трансформатора включені по схемі «трикутник - подвійний зигзаг», чим досягається вимикання потоку вимушеного намагнічування і, як наслідок, економія сталі.

1.2.5 Електричний привод типу «ТНР»

Серія електроприводів типу ТНР [16] виготовляється в двох варіантах (рис.1.9) [1, 23]:

1. У вигляді окремих модулів і під вузлів, у склад яких для однієї координати входять:

- блок контактної апаратури управління, захисту і сигналізації типу BS;
- тиристорний перетворювач типу ТНР1N;
- керуючі дроселі типу ДРО;

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

- силовий трансформатор типу ТЗ;
- високомоментний електричний двигун постійного струму серії «5680» із вмонтованим тахогенератором, резольвером і електромагнітним гальмом.

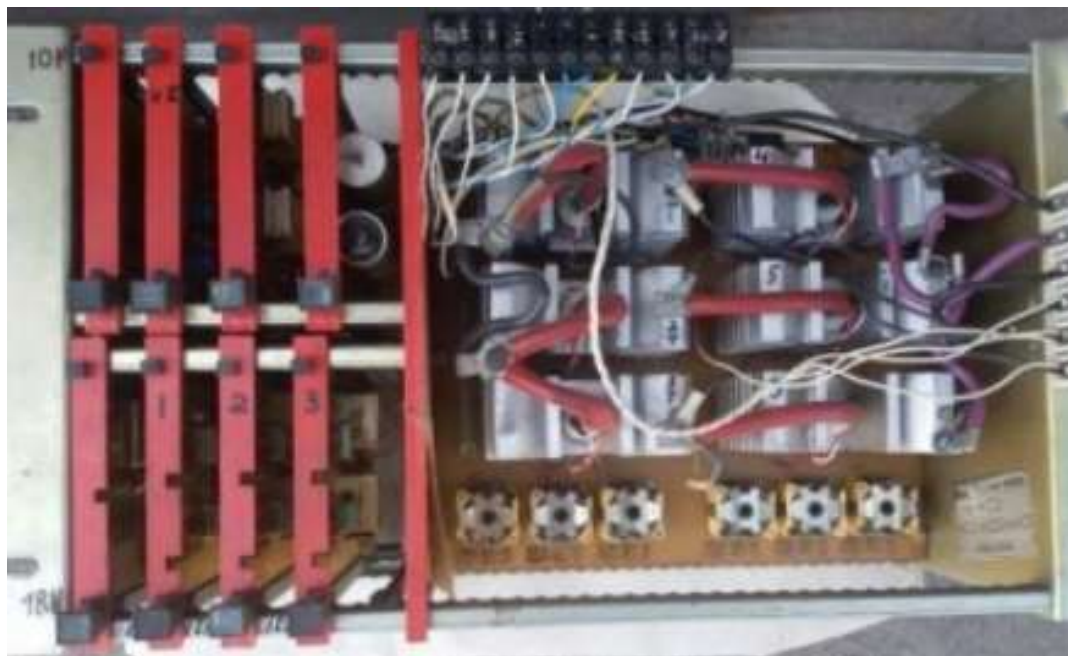


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд електроприводу «ТНР»

2. У вигляді комплектних станцій управління типу ZSO на одну, дві або три координати.

Опис принципової схеми привода [1, 23].

Блок-схема електричного привода показана на рис.1.10, де: ІНВ – інвертор; РШ – регулятор швидкості; К1,К2 – ключі; БНСО – блок нелінійного струмообмеження; СІФУ – система імпульсного - фазового керування; ПС – підсилювач струму; S_h - шунт; ТП - тиристорний перетворювач; РВС – регулятор максимальної величини струму; L - зрівняльний дросель; БЗ - блок захисту; ТР - силовий трансформатор; М - двигун; ТГ - тахогенератор.

Перетворювач виконаний по одно контурній схемі з регулятором швидкості і працює в зоні переривчастих струмів. Передбачено нелінійне

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

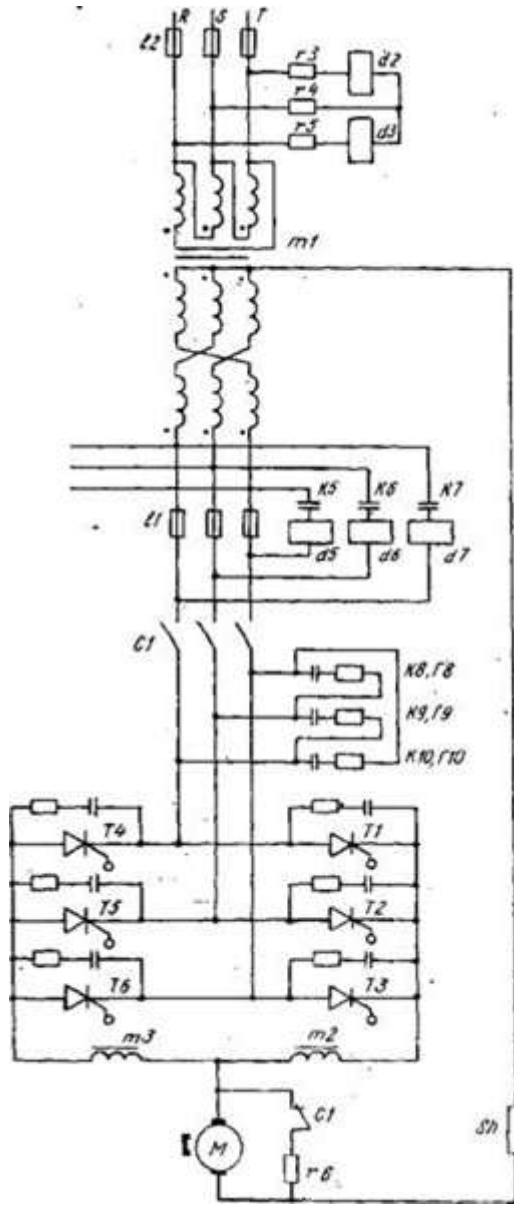


Рисунок 1.11 – Силова схема електричного приводу ТНР

1.3 Функціональна схема електроприводу типу ЕПУ2-1...Е

В якості приводу постійного струму для досліджень може застосовуватися електричний привод типу ЕПУ2-1...Е, функціональна схема якого представлена на рис.1.12 [1, 24].

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.
29

струмовий сигнал, який знімається з додаткової (компенсаційною) обмотки реактора 2L2.

При правильному налаштуванні датчика ДЕ за допомогою резисторів R16, R17 його вихідна напруга буде рівною ЕДС електричного двигуна.

Вузол струмообмеження СО призначений для обмеження максимального струму електричного двигуна [1, 24]. Для ЕПУ2-1...Е вузол СО виконаний на елементах VT18, R40, R42, R43, R44, C18.

1.4 Висновки до першого розділу

В даному розділі здійснено огляд існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи. Наводяться короткі відомості про двигуни постійного струму, що використовуються в електроприводах. Здійснюється огляд електроприводів постійного струму. Розглядається функціональна схема електроприводу типу ЕПУ2-1...Е, як один із варіантів для використання у стенді, що розробляється.

					БРМА23.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТУЖНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

2.1 Розробка функціональної схеми стенду для дослідження електроприводу постійного струму

Поскільки для дослідження буде застосовуватися двигун типу 2ПН-100L УХЛ4 потужністю 1.1 кВт, напругою живлення 220 В, номінальною частотою обертання 1500 об/хв з вбудованим тахогенератором то потрібно розробити функціональну схему в якій для зворотного зв'язку використовується тахогенератор.

Функціональна схема електричного приводу ЕПУ2-1..М представлена на рис.2.1 (лист [БРМА23.00.00.000Е2] [1, 24].

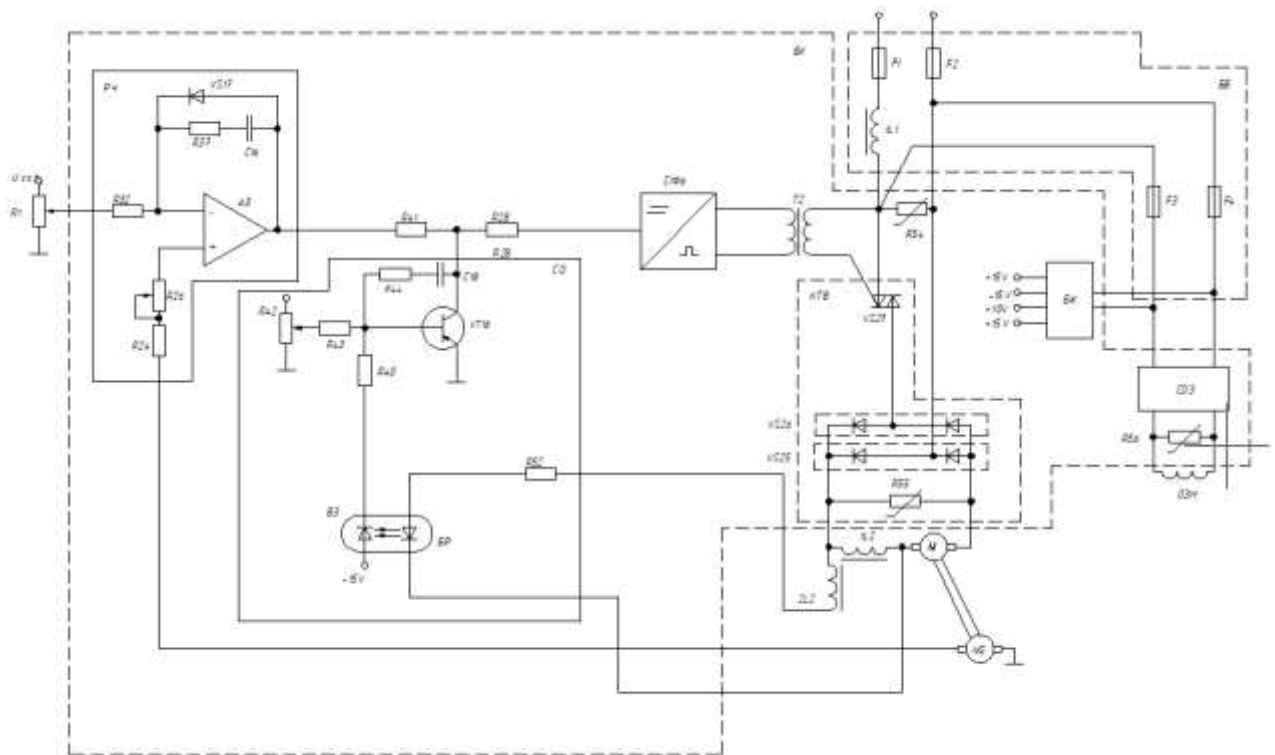


Рисунок 2.2 – Функціональна схема електричного приводу ЕПУ2-1..М

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Основними елементами такого електричного приводу є: КТВ - керований тиристорний випрямляч; БК – блок керування; РЧ - регулятор частоти; СОЗ - стабілізатор напруги обмотки збудження; СО – пристрій струмообмеження; СІФУ - система імпульсно-фазового керування; ДЖ - джерело живлення; БР – блок розв'язки; БВ – блок вводу.

На відмінну від функціональної схеми, що приведена на рис.1.12 в даній схемі для зворотного зв'язку використовується тахогенератор, який видає сигнал, пропорційний частоті обертання електричного двигуна, і розташований з ним на одному валу [1, 24].

2.2 Розробка електричної принципової схеми стенду для дослідження електроприводу

2.2.1 Вузол керування тиристорного випрямляча (КТВ)

Схема електрична принципова вузла представлена на рис.2.2.

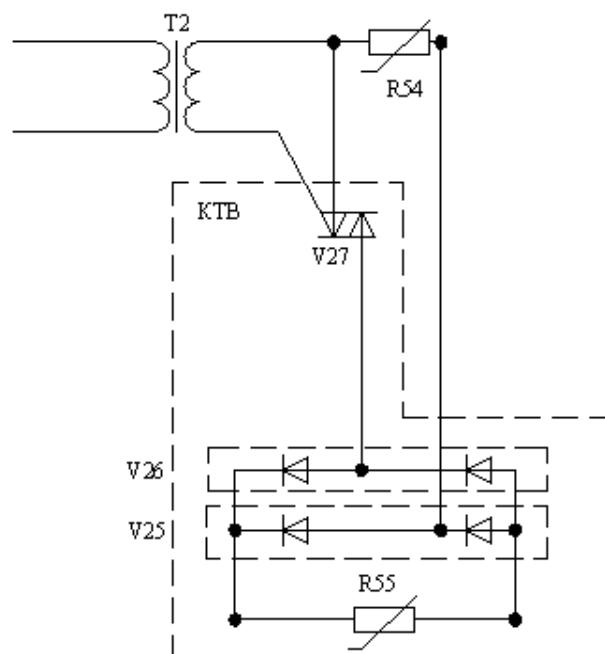


Рисунок 2.2 – Керований тиристорний випрямляч (КТВ)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.
33

Тиристорний керований випрямляч призначений для перетворення змінної напруги в регульовану випрямлену напругу і є однофазним мостом, що виконаний на діодних модулях VD25, VD26 і симетричному тиристорі VD27, включеному на вході моста в одну з фаз. Управління VD27 проходить через імпульсний трансформатор Т2 імпульсами від'ємної полярності. Переходу, що паралельно керує VD27, включені елементи R53, C24, які призначені для усунення можливих перешкод по каналу управління. Захист елементів VD27, VD25, VD26 від перенапружень здійснюється варисторами R54, R55. В даній схемі симістор VD27 працює як «ключ» змінної напруги, яка потім випрямляється мостом і подається на якор електричного двигуна [1].

2.2.2 Регулятор ЕРС

Регулятор ЕРС (рис.2.3) призначений для віднімання із сигналу задатчика сигналу зворотного зв'язку і підсилення цієї різниці. Сигнал зворотного зв'язку знімається з датчика електрорушійної сили ДЕ. Вихідний сигнал РЕ управляє системою фазоімпульсного керування [1].

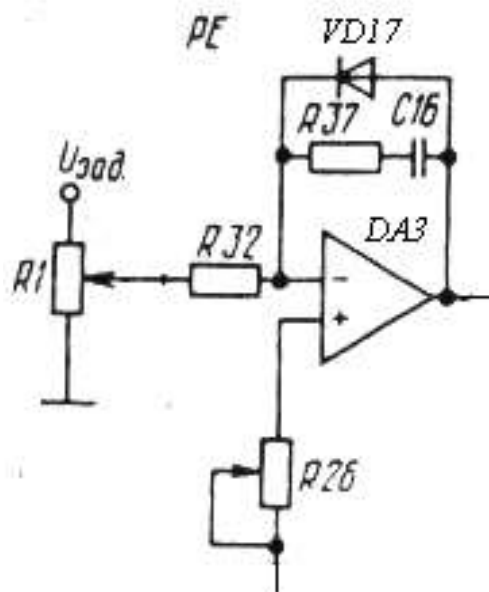


Рисунок 2.3 – Схема регулятора ЕРС

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

2.2.3 Датчик ЕРС

Датчик ЕРС (рис.2.4) призначений для здійснення зворотного зв'язку і виділення сигналу, пропорційного електрорушійній силі двигуна, який отримується в результаті алгебраїчного додавання сигналів, що пропорційні напрузі і струму електричного двигуна.

Даний сигнал знімається з дільника напруги R7, R8, R9, який увімкнений паралельно якорю, згладжується фільтром (Ф) і на виході повторювача А2.1 із нього виділяється струмовий сигнал, що знімається з додаткової (компенсаційної) обмотки реактора 2L2 [1].

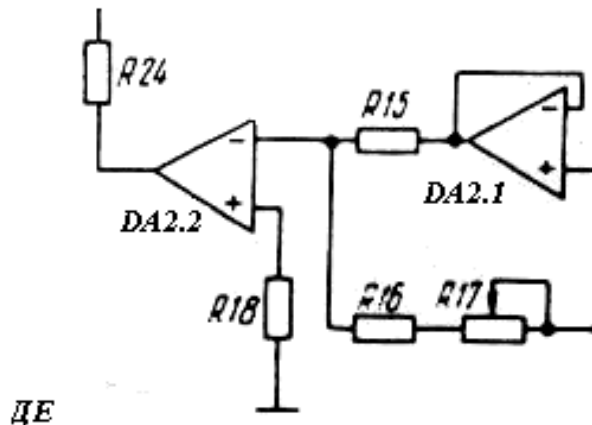


Рисунок 2.4 – Схема датчика ЕРС

При правильному налагодженні датчика ДЕ за допомогою резистора R16, R17 його вихідна напруга рівняється ЕРС електричного двигуна або визначається за формулою [1, 25-27]:

$$U_{ДЕ} = \frac{U_{я}}{1+T_{я}p} - I_{я}R_{я}, \quad (2.1)$$

де: $U_{я}$ – вихідна напруга датчика ДЕ;

$R_{я}$ – опір якоря;

$I_{я}$ – струм якоря;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$T_{я}$ – постійна часу;

$p = \frac{d}{dt}$ – символ диференціювання.

Слід зазначити, що при загальмованому електродвигуні середнє значення напруги $U_{ДЕ}$ повинно бути рівним нулю.

2.2.4 Вузол стабілізатора напруги обмотки збудження (СОЗ).

Схема електрична принципова вузла представлена на рис.2.5 [1].

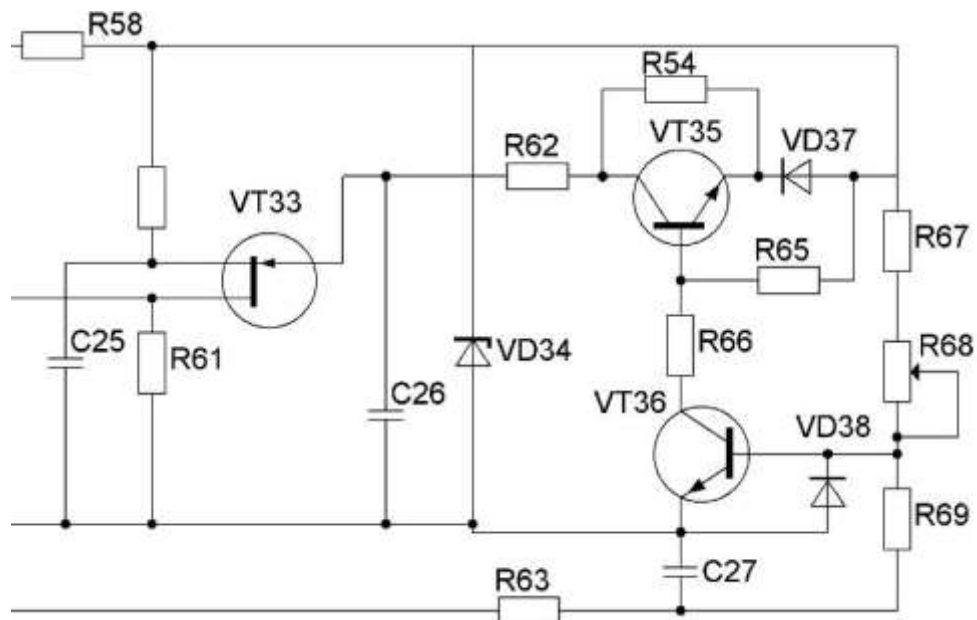


Рисунок 2.5 – Стабілізатор напруги обмотки збудження

Стабілізатор напруги обмотки збудження призначений для живлення постійною напругою обмотки збудження електричного двигуна. Випрямляч стабілізатора зібраний по однофазній мостовій схемі на одному тиристорі.

Сигнал зворотного зв'язку з обмотки збудження через фільтр R63, C27 подається на підсилувач постійного струму (ППС), що зібраний на транзисторі V36. На цей же вхід подається сигнал зворотної полярності від джерела опорної

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

напруги, що зібрана на діоді VD28, резисторах R57, R58 і стабілітроні VD34. ППС управляє зарядним струмом генератора пилоподібної напруги, що зібрана на транзисторі VT35, резисторах R62, R64, конденсаторе C26. Величина зарядного струму визначає час заряду накопичувального конденсатора C26, а, значить, і момент спрацьовування генератора імпульсів, що зібраний на одно перехідному транзисторі VT33. Так здійснюється управління імпульсами по фазі. Блокування імпульсу в наступний напівперіод відбувається тим, що напруга на стабілітроні відсутня [1].

2.2.5 Вузол системи імпульсно-фазового управління (СІФУ)

Схема електрична принципова вузла представлена на рис.2.6.

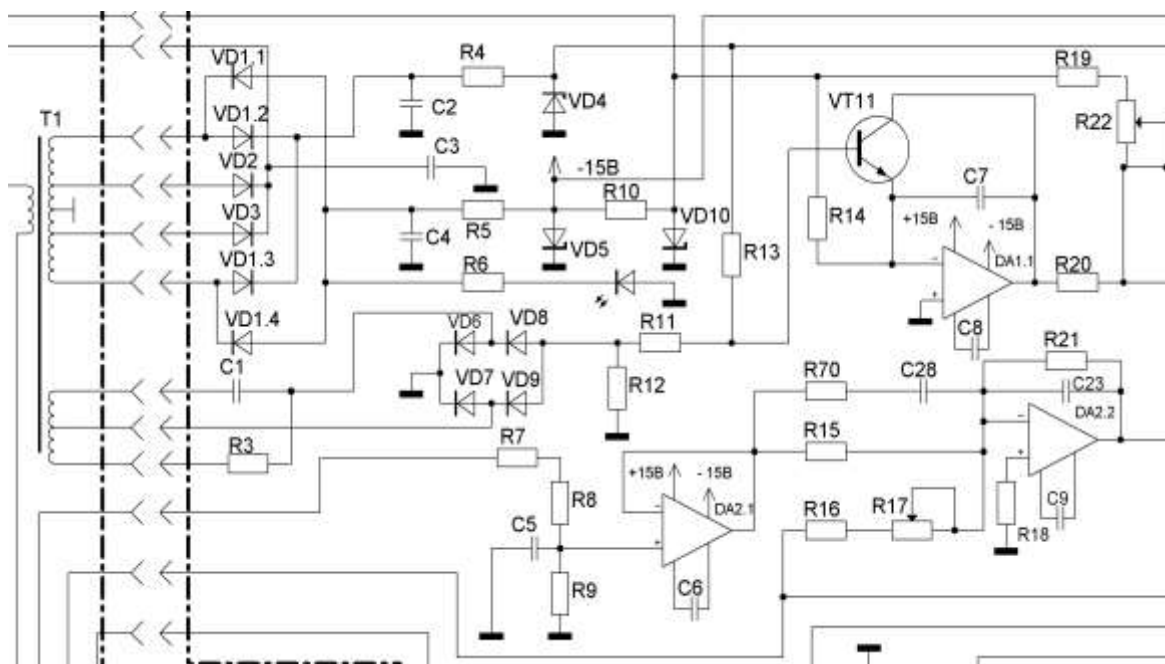


Рисунок 2.6 - Система імпульсно-фазового управління (СІФУ)

Система імпульсно-фазового управління призначена для вироблення і видачі в певні моменти часу управляючого імпульсу на VD27, СІФУ має

одноканальне виконання і управляється одно полярною напругою за принципом вертикального управління. Синхронізуюча напруга поступає на генератор пилкоподібної напруги ГПН від джерела синхронізуючої напруги ДСН, що виконане на двох напівобмотках трансформатора Т1, фазозсувного ланцюга С1, R3, діодного моста VD6... VD9 і резисторах R11...R13 [1].

За допомогою ключа VTII конденсатор С7 розряджається в ті моменти часу, коли напруга зсуву, що поступає через резистор R13, буде більше напруги пульсації, що поступає з мостів VD6, VD7, VD8, VD9. Таким чином, формується "пилка" з частотою $2f$ електромережі. Напруга з ГПН подається на вхід нуля-органа (АЛЕ) - підсилювач А1.2. На вході АЛЕ проходить порівняння трьох сигналів: напруги управління ($-U_k$), напруги зсуву ($+U_{см}$) і напруги ГПН ($-U_{гпн}$). Додатній зсув ($+U_{см}$), який подається через резистори R19, R22, визначає максимальний кут регулювання, тобто мінімальну напругу на якорі електричного двигуна.

При подачі сигналу управління ($-U_k$) з виходу РЧ сума $U_k + U_{гпн}$ перевищує $U_{см}$, і напруга нуля-органа змінює знак з «плюса» на «мінус», і по цьому фронту видається робочий імпульс. У формувачі тривалості імпульсів ФТІ, що виконаний на елементах R27, С13, А1.2, вони формуються тривалістю до чотирьох електричних градусів і подаються на підсилювач імпульсів і через імпульсний трансформатор Т2 на перехід управляючого симістора VD27. В блоці управління є джерело синхронізуючої напруги, що виконане на двох напівобмотках трансформатора Т1 і елементах С1, R3, VD6...VD9, R11...R13, за допомогою якого формується зона дозволу видачі управляючих імпульсів [1].

2.2.6 Вузол струмообмеження (СО)

Схема електрична принципова вузла струмо обмеження представлена на рис.2.7.

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

Блок вводу складається з чотирьох швидкодіючих запобіжників F1, F2, F3, F4 і реактора L1 [1].

Запобіжники призначені для захисту від коротких замикань:

- F1, F2 - в якорному колі;
- F3, F4 - в колі обмотки збудження електричного двигуна.

Реактор L1 призначений для виключення нелінійних спотворень електромережі і взаємного впливу електричних приводів при роботі від загальної електромережі. Крім того, він обмежує комутаційний струм через вентилі керованого тиристорного випрямляча і знижує di/dt , що збільшує, в свою чергу, надійність напівпровідникових приладів [1].

2.2.8 Вузол блоку живлення (БЖ)

Схема електрична принципова вузла блоку живлення представлена на рис.2.9.

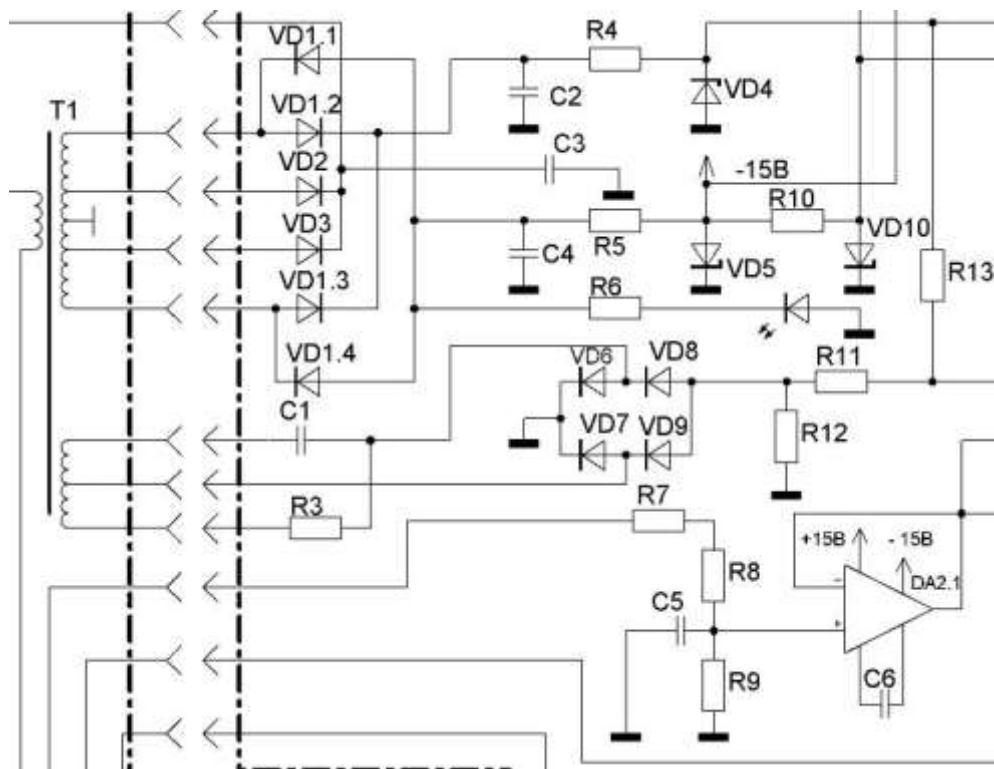


Рисунок 2.9 – Схема блоку живлення

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.
40

Джерело живлення (ДЖ) призначене для живлення кіл керування і задатчиків частоти обертання. Всі випрямлячі зібрані по двох напівперіодній схемі на трансформаторі з середньою точкою [1].

В джерела живлення є:

а) два стабілізовані джерела:

+15 В, що зібране на одній напів обмотці трансформатора Т1, діодах VDI.2, VDI.3, мості VDI.I, конденсаторі С2, резисторі R 4 і стабілітроні VD4;

-15 В, що зібране на іншій напів обмотці трансформатора Т1, діодах VDI.I, VD1.4, мості VD1, конденсаторі С4, резисторі R5 і стабілітроні VD5;

б) одне стабілізоване джерело +10 В, що зібране на резисторі R10 і стабілітроні VD10 і елементах джерела +15 В;

в) одне не стабілізоване джерело +15 В, що зібране на напів обмотках трансформатора Т1, діодах VD2, VD3 і конденсаторі С3;

г) одне джерело синхронізуючої напруги, що зібране на двох напів обмотках трансформатора Т1, конденсаторі С1, резисторі R3, мості VDб...VD9 і резисторах R11...R13 [1].

Схема електрична принципова електричного привода ЕПУ2-1...М приведена на листі [БРМА23.00.00.000Е3].

Принцип дії схеми описаний при розгляді її окремих вузлів у пунктах зазначених вище.

2.3 Розробка конструкції стенду для дослідження електроприводу постійного струму

2.3.1 Розробка пульта керування стенду

На основі розроблених функціональної та електричної схем, описаних вище, було розроблено та виготовлено пульт стенду. Каркас пульта виготовлено

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

із сталі Ст 3. Загальний вигляд пульта приведено на листі [БРМА23.00.00.000ДІ].

На основі електричної схеми було здійснено виготовлення друкованих плат, підбір радіоелементів та їх пайка.

Розроблено металевий каркас стенду та змонтовано у нього всі елементи.

2.3.2 Вибір електричного двигуна постійного струму

Для стенду було вибрано потужний електричний двигун постійного струму типу 2ПН100ЛУХЛ4 [28].

Електродвигун 2ПН100L – спеціальне обладнання, яким оснащуються широко регульовані автоматизовані електроприводи, що працюють із постійним струмом. Основні сфери застосування таких пристроїв: верстатобудування (виробництво механізмів подачі руху, включаючи верстати з ЧПУ), виготовлення роботизованої техніки та різних механізмів в інших галузях промисловості.

Загальний вигляд електродвигуна приведено на рис.2.10.



Рисунок 2.10 - Загальний вигляд електродвигуна типу 2ПН100ЛУХЛ4

Двигун має наступні технічні характеристики [28]:

- клас захисту корпусу: IP/44;

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

- робота у номінальному постійному режимі S1;
- тип обертання валу: реверсивне;
- можливість комплектації тахогенераторами;
- тип двигуна - постійного струму;
- потужність, кВт - 1,1;
- частота обертання номінальна, об/хв – 1500;
- напруга якоря, В – 220;
- довжина, мм – 440;
- ширина, мм – 224;
- висота, мм – 235;
- вага, кг – 43.

Креслення електродвигуна, габаритні, встановлювальні та приєднувальні розміри (ІМ3601) приведені на рис.2.11.

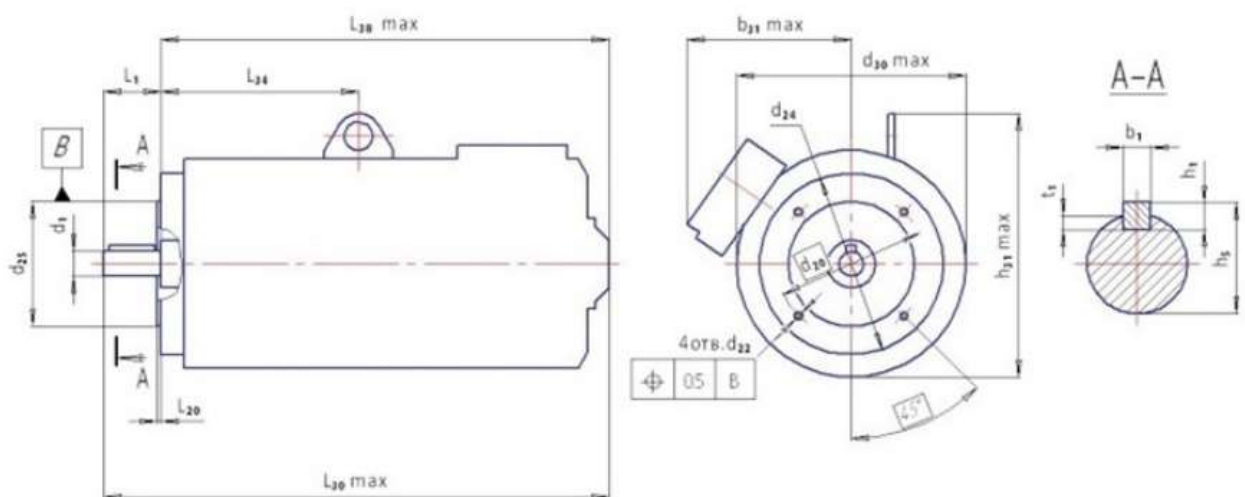


Рисунок 2.11 – Креслення електродвигуна 2ПН100ЛУХЛ4

2.4 Розміщення і монтаж стенду

Блок управління, блок вводу, реактор і задатчик частоти обертання розміщується в корпусі самого пульта. На передній панелі, яка має можливість відкриватись при огляді монтажу і ремонті розміщені кнопки управління

«ПУСК», «СТОП», «Реверс», потенціометр задатчика швидкості та клеми під'єднання електровимірювальних приладів [1].

Перед встановленням і монтажем електричного приводу необхідно провести зовнішній огляд, звернувши увагу на електричні з'єднання. Перевірити справність після його транспортування. Витримати не меншого 6 годин при температурі виробничого приміщення.

Щоб уникнути виходу з ладу блоку керування перед підключенням електричного двигуна перевірити опір ізоляції його обмоток за допомогою мегомметра. Опір обмоток щодо корпусу повинен бути не меншого 3 МОм.

Обмотку збудження електричного двигуна слід приєднувати до блоку керування через реле.

Підключення електричного приводу згідно схеми електричних з'єднань потрібно здійснювати проводами перетином не менше: 0,5 мм² при струмі до 5 А; 1,0 мм² при струмі до 10 А до клемників Х1, Х3 і 0,5 мм² до клемнику Х4 [1].

Для під'єднання електричного приводу до електричної мережі живлення рекомендується використовувати ввідний комутаційний апарат.

Щоб уникнути дії радіоперешкод, провід від задатчика частоти обертання і тахогенератора необхідності окремо від силових проводів скрученими або екранованими дротами.

2.5 Підготовка стенда до роботи

Перевірити правильність виконання електромонтажу електричного приводу згідно схеми зовнішніх з'єднання. Виконати захисне заземлення.

Задатчик частоти обертання потрібно встановити в ліве крайнє положення і подати напругу живлення на електричний привод. Електричний двигун обертатися не повинен. Провертаючи рукоятку задатчика частоти обертання вправо до упору, слід переконатися в зміні частоти обертання електричного двигуна від мінімальної до номінальної. Встановити задатчиком частоти

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

обертання потрібну частоту обертання і прикласти до валу електричного двигуна потрібне навантаження, що не перевищує номінального, вказаного в паспорті. В подальшому електропривод підготовлений до нормальної роботи [1].

2.6 Запуск електроприводу стенду

Запуск електроприводу допускається здійснювати при будь-якому положенні повзунка задатчика частоти обертання. Якщо повзунок задатчика частоти обертання двигуна знаходиться в крайньому лівому положенні (закорочений на одну точку), то у момент включення електричного приводу в електричну мережу небажаного короткочасного вибігу (обертання) валу двигуна не відбудеться, поскільки завдяки тимчасовій затримці С15, R39 транзистор V4 відкритий (потенціал на його "затворі" рівний нулю) і, таким чином, знімає на якийсь час вихідні імпульси, що подаються на V27. Після зарядження конденсатора С15 блокування вихідних імпульсів знімається, і електричний двигун обертається на частоті, що визначається положенням повзунка задатчика частоти обертання, окрім крайнього лівого; при якому електричний двигун обертатися не буде. В пускових режимах працює пристрій обмеження струму якоря електричного двигуна [1].

2.7 Робота електроприводу з навантаженням

При збільшенні навантаження на вал електричного двигуна зростає струм якоря і падіння напруги на ньому. Збільшення падіння напруги на якорі двигуна при постійній напрузі U_d призводить до зменшення електрорушійної сили ($E=U_d - I_a \cdot R_a$), а значить, і частоти обертання, електричного двигуна. Проте зменшення ЕРС при незмінній напрузі завдання призводить до збільшення вхідної напруги $U_{вх} = U_3 - k \cdot E_a$, значить, випрямленої напруги U_d і частоти обертання

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

електричного двигуна. Отже, при зміні навантаження на валу двигуна і незмінному положенні задатчика частоти його обертання автоматично змінюється напруга на виході випрямляча U_d так, щоб компенсувати падіння напруги на якорі $I_a R_a$, тобто зміна частоти обертання електричного двигуна [1].

2.8 Висновки до другого розділу

В даному розділі проводиться розробка стенду для дослідження потужного електроприводу постійного струму. Здійснюється розробка функціональної та електричної схем стенду. На основі них проводиться розробка конструкції стенду. Описуються підготовка стенду до роботи, запуск електроприводу та робота стенду із навантаженням.

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

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

3.1 Розрахунок параметричного однокаскадного стабілізатора напруги на +15 В

3.1.1 Схема стабілізатора напруги 15 В

На рас.3.1. приведено схему стабілізатора напруги 15 В [1, 25-27, 29-30].

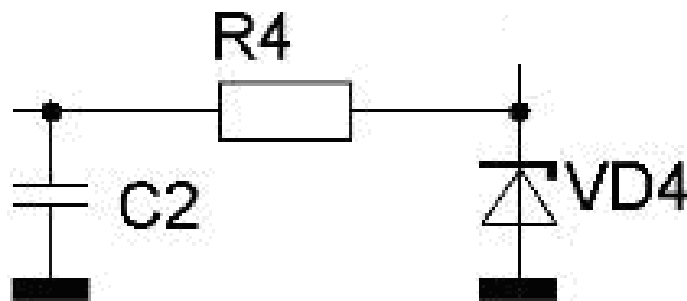


Рисунок 3.1 - Стабілізатор напруги 15 В

4.1.2 Вихідні дані для розрахунків:

$$U_{вих} = 15В;$$

$$I_n = 8мА;$$

$$\Delta I_n' = \Delta I_n'' = 2мА$$

$$\Delta U_{вих}' / U_{вих} = \Delta U_{вих}'' / U_{вих} = 10\%;$$

$$K_{ст} \geq 10.$$

Параметри для визначення:

- струми, які протікають через стабілітрон;
- опір резистора;
- коефіцієнт стабілізації напруги;
- вихідний опір стабілізатора.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА23.00.00.000 ПЗ

Арк.
47

Розрахунок проводимо згідно методики викладеної у літературі [1].

Було вибрано стабілітрон типу КС522А1 в якого номінальна напруга стабілізації рівна $U_{ст} = 22В$, номінальний і максимальний струм стабілізації рівні $I_{ст.н} = 5мА$; $I_{ст.мак} = 37мА$, динамічний опір рівний $R_{д} = 250м$.

Задаємося $n_{ст}$ в межах 1,4-2. Прийнято для розрахунку $n_{ст} = 1,6$. При цьому вхідна напруга буде складати:

$$U_{вх} = n_{ст} \cdot U_{вих} = 1,6 \cdot 15 = 24В .$$

Опір резистора визначається:

$$R_o = \frac{U_{вих}(n_{ст} - 1)}{I_{ст} + I_n} . \quad (3.1)$$

Прийнявши $I_{ст} = 8мА$, було отримано:

$$R_o = \frac{15(1,6 - 1)}{8 + 8 \cdot 10^{-3}} = 5620м.$$

Струми, які протікають через стабілітрон визначаються наступним чином:

$$I_{мін} = I_{ст} - \left(\frac{\Delta U_{вх}}{R_o} + \Delta I_n \right) = 8 - \left(\frac{1,5}{562} + 2 \right) = 6мА, \quad (3.2)$$

$$I_{мак} = I_{ст} + \left(\frac{\Delta U_{вх}}{R_o} + \Delta I_n \right) = 8 + \left(\frac{1,5}{562} + 2 \right) = 10мА.$$

де

$$\Delta U_{вх} = \Delta U_{вх} = 0,1 \cdot U_{вих} = 0,1 \cdot 15 = 1,5В .$$

Коефіцієнт стабілізації напруги визначається із формули:

$$K_{cm} = \left(\frac{R_0}{R_d} + 1\right) \frac{1}{n_{cm}} = \left(\frac{562}{25} + 1\right) \frac{1}{1,6} = 15 \quad (3.3)$$

Вихідний опір стабілізатора рівняється:

$$R_{вих} = R_d = 250\text{М}$$

3.2 Розрахунок параметричного однокаскадного стабілізатора напруги на +10 В

3.2.1 Схема стабілізатора напруги +10 В [1, 25-27, 29-30].

Розрахункову схему стабілізатора напруги приведено на рис.3.2.

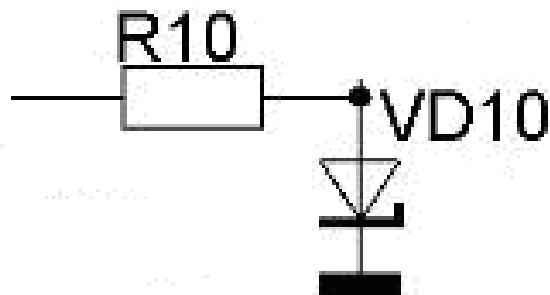


Рисунок 3.2 - Стабілізатор напруги +10 В

3.2.2 Вихідні дані для розрахунків:

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

$$U_{вих} = 10B;$$

$$I_H = 8mA;$$

$$\Delta I_H' = \Delta I_H'' = 2mA$$

$$\Delta U_{вх}' / U_{вх}' = \Delta U_{вх}'' / U_{вх}'' = 10\%;$$

$$K_{ст} \geq 10.$$

Параметри для визначення:

- струми, які протікають через стабілітрон;
- опір резистора R10;
- коефіцієнт стабілізації напруги;
- вихідний опір стабілізатора.

Було вибрано стабілітрон типу КС522А1 в якого номінальна напруга стабілізації рівна $U_{ст} = 22B$, номінальний і максимальний струм стабілізації рівні $I_{ст.н} = 5mA$; $I_{ст.мах} = 37mA$, динамічний опір рівний $R_D = 250\Omega$.

Задаємося $n_{ст}$ в межах 1,4-2. Прийнято для розрахунку $n_{ст} = 1,6$. При цьому вхідна напруга складає:

$$U_{вх} = n_{ст} \cdot U_{вих} = 1,6 \cdot 10 = 16B.$$

Опір резистора визначається за формулою:

$$R_o = \frac{U_{вих} (n_{ст} - 1)}{I_{ст} + I_H}. \quad (3.4)$$

Прийнявши $I_{ст} = 8mA$, отримуємо:

$$R_o = \frac{10(1,6 - 1)}{8 + 8 \cdot 10^{-3}} = 0,750\Omega.$$

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

Струми, які протікають через стабілітрон визначаються із виразів:

$$I_{\min} = I_{cm} - \left(\frac{\Delta U_{ex}}{R_0} + \Delta I_H \right) = 8 - \left(\frac{1}{0.75} + 2 \right) = 5 \text{ мА},$$
$$I_{\max} = I_{cm} + \left(\frac{\Delta U_{ex}}{R_0} + \Delta I_H \right) = 8 + \left(\frac{1}{0.75} + 2 \right) = 12 \text{ мА}.$$
(3.5)

де

$$\Delta U_{ex} = \Delta U_{ex} = 0.1 \cdot U_{вих} = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ В}$$

Коефіцієнт стабілізації напруги рівняється:

$$K_{cm} = \left(\frac{R_0}{R_d} + 1 \right) \frac{1}{n_{cm}} = \left(\frac{0.75}{25} + 1 \right) \frac{1}{1,6} = 0.65.$$
(3.6)

Вихідний опір стабілізатора визначається із виразу:

$$R_{вих} = R_d = 250 \text{ Ом}.$$

3.3 Розрахунок джерела синхронізуючої напруги

Джерело синхронізуючої напруги було зібрано на двох напів обмотках трансформатора Т1, конденсаторі С1, резисторі R3, мосту VD6...VD9 і резисторах R11...R13 [1].

3.3.1 Схема джерела синхронізуючої напруги

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

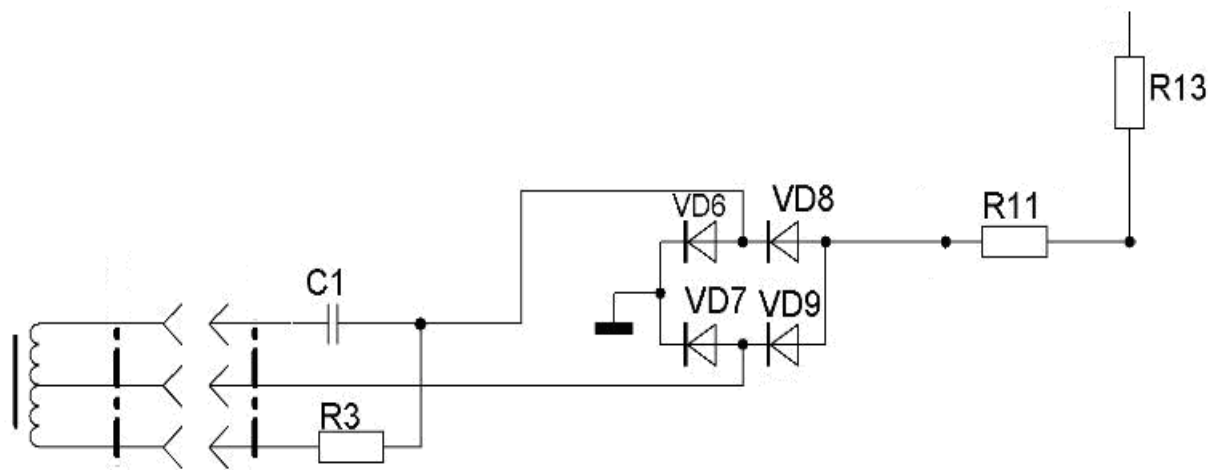


Рисунок 3.3 - Джерело синхронізуючої напруги

3.3.2 Вихідні дані для розрахунків:

- струм $I_0 = 0.1A$;
- напруга навантаження $U_{но} = 10B$;
- частота електричної мережі $f = 50Гц$;
- напруга електричної мережі $U_1 = 220B$;
- $K_{n.вих} = 0,1\%$.

Необхідно визначити:

- розрахувати і підібрати тип діодів для випрямляючого моста;
- підібрати за параметрами резистори і конденсатори.

Для вибору типу діодів було визначено зворотну напругу:

$$U_{зб} = 1,5 \cdot U_0 = 1,5 \cdot 12 = 20 \text{ В}, \quad (3.7)$$

де

$$U_0 = 1,2 \cdot U_{но} = 1,2 \cdot 10 = 12 \text{ В.}$$

Середній струм визначається:

$$I_{cp} = 0,5 \cdot I_0 = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ мА} . \quad (3.8)$$

Було вибрано діоди [25-27] типу КД522Б з наступними параметрами $I_{cp} = 100 \text{ мА}$, $U_{зб} = 60 \text{ В}$, $R_f = 2 \text{ Ом}$.

Було вибрано:

- конденсатор С1 типу К73-17-250В-0,1 мкф±10%;
- резистор R11 типу С2-23-0,125-10 кОм±10%;
- резистор R3 типу С2-23-0,125-1,5 кОм±10%;
- резистор R13 типу С2-23-0,125-100 кОм±10% [25-27].

3.4 Розрахунок керованого тиристорного випрямляча

3.4.1 Схема керованого тиристорного випрямляча [1, 25-27, 29-30]

Схема керованого тиристорного випрямляча представлена на рис.3.4.

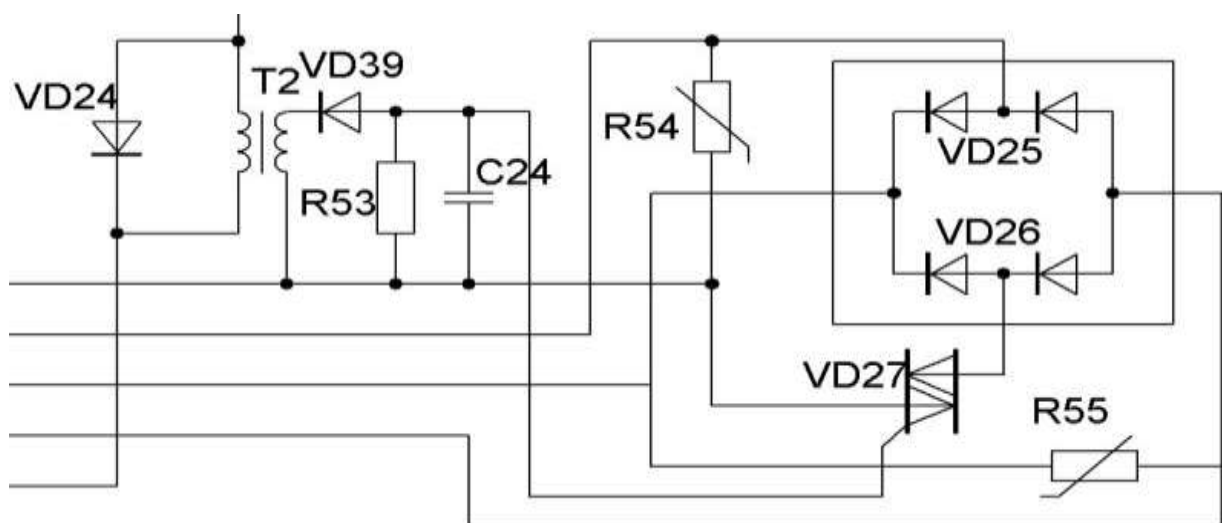


Рисунок 3.4 - Керований тиристорний випрямляч

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Тиристорний керований випрямляч призначений для перетворення змінної напруги в регульовану випрямлену напругу і є однофазним мостом, що виконаний на діодних модулях V25, V26 і симетричному тиристорі V27, що включений на вході моста в одну з фаз. Управління V27 проходить через імпульсний трансформатор T2 імпульсами від'ємної полярності. Переходу V27, що паралельно управляє, включені елементи R53, C24, що призначені для усунення можливих перешкод по каналу управління. Захист елементів V27, V25, V26 від перенапружень здійснюється варисторами R54, R55. В даній схемі тиристор V27 працює як "ключ" змінної напруги, яка потім випрямляється мостом і подається на якор електричного двигуна [1].

3.4.2 Вихідні дані для розрахунків:

- напруга навантаження $U_{но} = 30В$;
- напруга електричної мережі $U_1 = 220В$;
- струм $I_0 = 0.1А$;
- частота електричної мережі $f = 50Гц$;
- $K_{п.вих} = 0.1\%$.

Потрібно визначити:

- розрахувати та підібрати тип діодів для випрямляючого моста;
- підібрати за параметрами резистор, конденсатор і симетричний тиристор VD27.

Для вибору типу діодів було визначено зворотну напругу:

$$U_{зв} = 1,5 \cdot U_0 = 1,5 \cdot 36 = 54В, \quad (3.9)$$

де

$$U_0 = 1,2 \cdot U_{но} = 1,2 \cdot 30 = 36В.$$

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

Середній струм визначається із виразу:

$$I_{cp} = 0,5 \cdot I_0 = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ мА} \quad (3.10)$$

Вибрано діоди [25-27] типу КД521Б з наступними характеристиками:
 $I_{cp} = 100 \text{ мА}$, $U_{зв} = 60 \text{ В}$, $R_i = 2 \text{ Ом}$.

Вибрано конденсатор С24 типу К73-17-250В-1,0 мкф±10%; резистор R53 типу С2-23-0,125-100 Ом±10%.

Вибрано тиристор типу ТС122-25 із наступними характеристиками:
 $I_{откр.маx} = 25 \text{ А}$, $I_{зак.маx} = 3,5 \text{ мА}$, $U_{откр.маx} = 1,85 \text{ В}$, $U_{зак.маx} = 100 \dots 1200 \text{ В}$.

3.5 Розрахунок трансформатора

Вихідні дані для розрахунку:

- напруга електричної мережі живлення $U_{жс} = 220 \text{ В}$; напруга вторинної обмотки трансформатора $U_{вих} = 18 \text{ В}$; напруга навантаження $U_{но} = 10 \text{ В}$; струм $I_0 = 0,5 \text{ А}$.

3.5.1 Для вибору типу діодів було визначено зворотну напругу:

$$U_{зв} = 1,5 \cdot U_0 = 1,5 \cdot 12 = 20 \text{ В},$$

де

$$U_0 = 1,2 \cdot U_{но} = 1,2 \cdot 10 = 12 \text{ В}$$

Вибрано діоди [25-27] типу КД522Б з наступними характеристиками:
 $I_{cp} = 100 \text{ мА}$, $U_{обр} = 60 \text{ В}$, $R_i = 2 \text{ Ом}$.

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

3.5.2 Визначення опору трансформатора:

$$R_{mp} = \frac{830 \cdot U_0}{I_0 \sqrt[4]{U_0 \cdot I_0}} = \frac{830 \cdot 12}{500 \cdot \sqrt[4]{12 \cdot 500}} = 4,1 \text{ Ом.} \quad (3.11)$$

Напруга на вторинній обмотці трансформатора визначається:

$$U_2 = 0,75 \cdot U_0 + \frac{I_0 (2R_i + R_{mp})}{530} = 0,75 \cdot 12 + \frac{500(2 \cdot 2 + 4,1)}{530} = 20 \text{ В.} \quad (3.12)$$

Струми визначаються із формул:

$$I_2 = 1,41 \cdot I_0 + \frac{16,6 \cdot U_0}{2R_i + R_{mp}} = 1,41 \cdot 500 + \frac{16,6 \cdot 12}{2 \cdot 2 + 4,1} = 730 \text{ мА};$$

$$I_1 = \frac{1,2 \cdot U_2 \cdot I_2}{U_1} = \frac{1,2 \cdot 20 \cdot 730}{220} = 80 \text{ мА.} \quad (3.13)$$

Було обраховано габаритну потужність трансформатора, яка для двох напівперіодної схеми визначається виразом:

$$P_2 = \frac{1,7 \cdot U_2 \cdot I_2}{1000} = \frac{1,7 \cdot 20 \cdot 730}{1000} = 25 \text{ ВА.} \quad (3.14)$$

Визначивши габаритну потужність трансформатора, було знайдено додаток площі перерізу осердя трансформатора Q_c на площу вікна осердя Q_0 . З раніше отриманих розрахунків маємо була змога визначитися з вибором проводу.

Вибрано провід [29, 30] марки ПЕЛ. При цьому було отримано:

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

$$Q_c \cdot Q_0 = 1,6 \cdot P_2 = 1,6 \cdot 25 = 40 \text{ см}^4 \quad (3.15)$$

З технічної літератури [29, 30], в якій приведені основні дані типових Ш-подібних пластин, по значенню $Q_c \cdot Q_0$ вибрано для осердя трансформатора пластини типу УШ22 з $Q_0 = 5,46 \text{ см}^2$, шириною середнього стержня осердя $a = 2,2 \text{ см}$, висотою вікна $h = 3,9 \text{ см}$ і шириною вікна $b = 1,4 \text{ см}$. При цьому отримано наступне значення:

$$Q_c = \frac{Q_c \cdot Q_0}{Q_0} = \frac{40}{5,46} = 7,5 \text{ см}^2. \quad (3.16)$$

Потрібна товщина пакета пластин обраховується за наступною формулою:

$$c = \frac{Q_c}{a} = \frac{7,5}{2,2} = 3,4 \text{ см}. \quad (3.17)$$

Визначення числа витків w і товщини провідника d первинної і вторинної обмоток трансформатора:

$$w_1 = \frac{48 \cdot U_1}{Q_c} = \frac{48 \cdot 220}{7,5} = 1408 \text{ витка};$$

$$w_2 = \frac{54 \cdot U_2}{Q_c} = \frac{54 \cdot 20}{7,5} = 144 \text{ витка}, \quad (3.18)$$

$$d_1 = 0,02 \sqrt{I_1} = 0,02 \sqrt{80} = 0,17 \text{ мм};$$

$$d_2 = 0,02 \sqrt{I_2} = 0,02 \sqrt{730} = 0,54 \text{ мм}. \quad (3.19)$$

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

3.6 Висновки до третього розділу

В даному розділі проводяться розрахунки, що підтверджують працездатність стенду для дослідження електроприводу постійного струму. Здійснюється розрахунок параметричного однокаскадного стабілізатора напруги на +15 В, параметричного однокаскадного стабілізатора напруги на +10 В, джерела синхронізуючої напруги, керованого тиристорного випрямляча та трансформатора.

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

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської роботи було виготовлено стенд для дослідження потужного електропривода постійного струму побутової техніки.

При проектуванні стенду був зроблений аналітичний огляд існуючих електроприводів, що вносить позитивний ефект в розвиток побутової техніки. Розглядається функціональна схема електроприводу типу ЕПУ2-1...Е, як один із варіантів для використання у стенді, що розробляється.

В другому розділі проводиться розробка стенду для дослідження потужного електроприводу постійного струму. Здійснюється розробка функціональної та електричної схем стенду. На основі них проводиться розробка конструкції стенду. Описуються підготовка стенду до роботи, запуск електроприводу та робота стенду із навантаженням.

В третьому розділі проводяться розрахунки, що підтверджують працездатність стенду для дослідження електроприводу постійного струму. Здійснюється розрахунок параметричного однокаскадного стабілізатора напруги на +15 В, параметричного однокаскадного стабілізатора напруги на +10 В, джерела синхронізуючої напруги, керованого тиристорного випрямляча та трансформатора.

У результаті виконання бакалаврської роботи було виготовлено стенд для дослідження потужного електропривода постійного струму побутової техніки.

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

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Розробка малопотужного тиристорного електроприводу [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hwtqy>
2. Історія розвитку електроприводу [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hwtdy>
3. Переваги і недоліки двигунів постійного і змінного струму. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://um.co.ua/8/8-17/8-178897.html>
4. Електроприводи по системі тиристорний перетворювач-двигун постійного струму [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://um.co.ua/13/13-8/13-88033.html>.
5. Видмиш А.А., Ярошенко Л.В.. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
6. Електропривод. Структура і загальні відомості. [Електронний ресурс].
Режим доступу: http://www.dgma.donetsk.ua/metod/esa/teoriya_elektroprivoda/konspekt_lekciy.pdf
7. Плешков С. П., Серебренніков С. В. Енергоефективний електропривод у промисловості та сільськогосподарському виробництві : навчальний посібник. Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2016. - 156 с.
8. Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О. Електропривод виробничих машин і механізмів. Навчальний посібник з виконання курсової роботи. – Вінниця: ВНАУ, 2016. – 215с.
9. Попович М.Г. Теорія електропривода. - К.: Вища шк., 1993 – 496 с.
10. Колб А. А., Колб А. А. Теорія електроприводу: навчальний посібник. - Дніпропетровськ : НГУ, 2011. - 540 с.
11. Казачковський М.М. Комплектні електроприводи. Навч. посібник. - Дніпропетровськ: НГУ, 2003. – 266 с.

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

12. Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І., Синявський О. Ю., Войтюк Д. Г., Лисенко В. П. Електропривод: підручник. – К.: Видавництво «Ліра-К», 2009. - 504 с.

13. Павленко Т. П., Донець О. В., Петренко О. М. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів : конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка). - Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. - 132 с.

14. Голодний І.М., Лавріненко Ю.М., Козирський В.В. Регульований електропривод : підручник. – К.: ТОВ «ЦП «Компринт», 2015. - 509 с

15. Crowder R. Electric Drives and Electromechanical Systems. Oxford: Elsevier, 2006. - 310 p.

16. Шульга А.А., Полупан І.І., Ткаченко А.А. Автоматизований електропривод металорізальних верстатів : навчальний посібник: для студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод». - Краматорськ: ДДМА, 2010. - 124 с.

17. Високомоментні електродвигуни. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hwtpj>.

18. Особливості високомоментних двигунів. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://4ua.co.ua/physics/sb2bd68b5c43b89421316c36_0.html.

19. Комплектний електропривод подачі типу «БТУ3601» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://msd.com.ua/dvigateli-postoyannogo-toka/komplektnyj-elektroprivod-podachi-tipa-btu3601/>.

20. Комплектний електропривод подачі типу «ЕТ6» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://msd.com.ua/aleksandriya/komplektnyj-elektroprivod-podachi-tipa-et6/>.

21. Комплектний електропривод подачі типу «Мезоматік» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://msd.com.ua/dvigateli-postoyannogo-toka/komplektnyj-elektroprivod-podachi-tipa-mezomatik/>.

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

22. Комплектний електропривод подачі типу «Кемрон» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://msd.com.ua/dvigateli-postoyannogo-toka/komplektnyj-elektroprivod-podachi-tipa-kemron/>.

23. Комплектний електропривод подачі типу «ТНР» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://msd.com.ua/dvigateli-postoyannogo-toka/komplektnyj-elektroprivod-podachi-tipa-tnp/>.

24. Електроприводи ЕПУ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://msd.com.ua/equipment/privod.html>.

25. Елементна база радіоелектронної апаратури: Пасивні радіокомпоненти В 4 ч. Ч.1. [Електронний ресурс]: навч. посіб. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 98 с.

26. Панфілов І.П., Савицька М.П., Флейта Ю.В. Компонентна база радіоелектронної апаратури: Навчальний посібник, Модуль 1. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 180 с.

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

28. Електродвигун постійного струму 2ПН100L [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/hwudf>.

29. Журавльова Л.В. Електроматеріалознавство: [підруч.] / Л.В. Журавльова, В.М. Бондар. – К.: Грамота, 2006. – 312 с.

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

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

Додаток А

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