

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка обладнання для регулювання параметрів колекторних електродвигунів побутової техніки

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

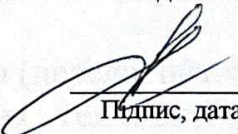
Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу групи ЕТс-22-2


Підпис

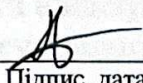
Довгалецький М.О.
Ініціали, прізвище

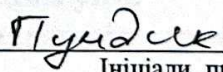
Керівник


Підпис, дата

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

Нормоконтролер


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище


2 06 2025 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



2 . 06 . 2025

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ Довгалецький Микола Олегович Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка обладнання для регулювання параметрів колекторних електродвигунів побутової техніки**
керівник роботи **Поліщук О.С., д.т.н., професор**

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

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи: **технічні характеристики стендів аналогів та електродвигунів**

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

1 **Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень у системах контролю та регулювання електричних двигунів**

2 **Розробка обладнання для регулювання параметрів колекторних електродвигунів побутової техніки**

3 **Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою для регулювання та контролю параметрів універсального колекторного електричного двигуна**

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

Аркуш 1. Системи регулювання та контролю електричних двигунів. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Замкнута система регулювання електродвигунів. Схема електрична структурна (A2) + Система регулювання та контролю електродвигунів на мікроконтролері. Схема електрична функціональна. Аркуш 3. Пристрій регулювання та контролю електродвигунів. Схема електрична принципова (A1). Аркуш

4. Пристрій регулювання та контролю. Друкована плата (A1). Аркуш Пристрій регулювання та контролю електродвигунів. Схема монтаж (A2) + Корпус пристрою регулювання та контролю електродвигунів. Габаритне креслення (A2).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень у системах контролю та регулювання електричних двигунів	20.05.25р.	
2 Розробка обладнання для регулювання параметрів колекторних електродвигунів побутової техніки	01.06.25р.	
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою для регулювання та контролю параметрів універсального колекторного електричного двигуна	07.06.25р.	
4 Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	15.06.25р.	

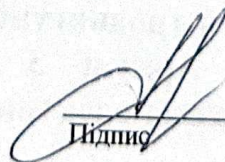
Студент


Підпис

Довгалецький М.О.

Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Поліщук О.С.

Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові **Довгалецький Микола Олегович**

2. Тема бакалаврської роботи **Розробка обладнання для регулювання параметрів колекторних електродвигунів побутової техніки**

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

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 97

5. На сучасному етапі розвитку електропобутової техніки значну роль відіграє електричний привід, який включає в себе електродвигун та систему керування ним. Саме електропривід забезпечує виконання основних функцій побутових приладів, таких як приготування їжі, прання, прибирання тощо. Незалежно від типу використовуваного електродвигуна електропривід має забезпечувати ефективну, стабільну роботу відповідно до вимог конкретного технологічного процесу. Ключову роль у цьому відіграє система керування, яка визначає режими роботи двигуна та забезпечує необхідні параметри приводу. В межах бакалаврської роботи розроблена система регулювання та контролю електричних двигунів побутової техніки. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень у системах контролю та регулювання електричних двигунів. В другому розділі здійснено розробку обладнання для регулювання параметрів колекторних електродвигунів побутової техніки. В третьому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою для регулювання та контролю параметрів універсального колекторного електричного двигуна

Підпис студента _____

" 2 " 06 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 3 від " 19 " 06 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК 4/5

Рекомендації ЕК -

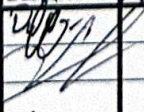


Особливі відмітки -

Технічний секретар _____

" 19 " 06 20 25 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень у системах контролю та регулювання електричних двигунів	8
1.1 Загальні відомості	8
1.2 Регулювання швидкості обертання	9
1.3 Регулювання моменту на валу електродвигуна	13
1.4 Огляд існуючих систем регулювання та контролю універсальних колекторних електричних двигунів	21
1.5 Висновки до першого розділу	41
2 Розробка обладнання для регулювання параметрів колекторних електродвигунів побутової техніки	46
2.1 Контроль перевантаження та швидкості універсального колекторного електричного двигуна	46
2.2 Розробка схеми регулювання та контролю універсального колекторного електричного двигуна	50
2.3 Розробка та виготовлення конструкції обладнання для регулювання та контролю параметрів універсального колекторного електродвигуна	63
2.4 Висновки до другого розділу	71
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою для регулювання та контролю параметрів універсального колекторного електричного двигуна	72
3.1 Розрахунок керуючого елемента	72
3.2 Розрахунок елементів датчика струму	76

БРМА25.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка обладнання для регулювання параметрів колекторних електродвигунів побутової техніки Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Довгалецький				6	4	97
Перевір.		Поліщук			ХНУ гр.ЕТс-22-2			
Н.контр.								
Затвер.		Неймак						

користувача.

Існуючі недоліки систем керування електроприводами в побутовій техніці можуть бути ефективно усунені завдяки досягненням сучасної електроніки та мікросхемотехніки. Застосування сучасних енергоефективних силових компонентів - таких як симістори, транзистори (у тому числі IGBT і MOSFET), - а також інтеграція цифрових елементів, зокрема мікроконтролерів, відкриває нові можливості для підвищення ефективності, надійності та функціональності систем регулювання електричних двигунів.

Ці технічні рішення дозволяють реалізувати адаптивне управління, точне регулювання швидкості обертання, плавний запуск і зупинку, а також енергозбереження за рахунок оптимізації режимів роботи двигуна. Крім того, використання мікропроцесорної техніки забезпечує можливість реалізації інтелектуальних функцій, таких як самодіагностика, обробка зворотного зв'язку та дистанційне управління.

У зв'язку з цим, у межах бакалаврської роботи поставлено завдання розробити сучасну систему регулювання та контролю електричних двигунів побутової техніки. Очікується, що ця система дозволить підвищити загальну ефективність роботи електроприводу, зменшити собівартість кінцевого пристрою та покращити його ергономічні характеристики, забезпечивши простоту використання і високу адаптивність до умов експлуатації.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ У СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ТА РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ

1.1 Загальні відомості

Аналіз сучасної електропобутової техніки свідчить, що серед електричних приводів найбільш поширеними залишаються два типи електродвигунів: асинхронний однофазний двигун з короткозамкненим ротором та універсальний колекторний електродвигун (УКД). Кожен з них має свої особливості, переваги та обмеження, які обумовлюють сферу їх застосування.

Універсальні колекторні двигуни мають низку важливих експлуатаційних характеристик, які забезпечують їх популярність у побутовій сфері. Зокрема, вони дозволяють плавно регулювати частоту обертання, що є цінною перевагою для реалізації адаптивного керування робочими режимами. До основних переваг УКД можна віднести: можливість точного і широкого регулювання частоти обертання та моменту на валу; високу частоту обертання ротора (до 30 000 об/хв), що дозволяє використовувати їх у компактних і потужних приладах; простоту конструкції при одночасній високій динаміці роботи.

Завдяки цим властивостям УКД широко застосовуються в електроінструменті, пирососах, м'ясорубках, пральних машинах, міксерах та іншій побутовій техніці.

Проте недоліки також мають місце. Основним з них є наявність колектора та щітково-колекторного вузла, що призводить до зниження ресурсу двигуна через зношування контактних елементів, і, відповідно, підвищення експлуатаційних витрат на обслуговування або заміну агрегатів.

									Арк.
									8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

Аналізуючи типові схеми керування УКД у побутових приладах, встановлено, що більшість із них не є енергоефективними та не забезпечують необхідного рівня точності регулювання. Застарілі або спрощені системи керування не дозволяють реалізувати сучасні алгоритми енергозбереження та точного контролю швидкості або моменту.

Розвиток мікроелектроніки, зокрема поширення недорогих і функціональних мікроконтролерів, відкриває можливість розробки ефективних систем керування. Мікроконтролери мають зручне програмування, невеликі габарити, низьке енергоспоживання і дають змогу реалізовувати складні керуючі алгоритми з використанням зворотного зв'язку, адаптивного регулювання та захисних функцій.

У цьому контексті актуальним стає завдання створення мікроконтролерної системи регулювання універсального колекторного двигуна, яка дозволить: зменшити енерговитрати при експлуатації побутових приладів; забезпечити точне та стабільне регулювання робочих параметрів; підвищити надійність та експлуатаційний ресурс техніки.

1.2 Регулювання швидкості обертання

Для колекторних електродвигунів, зокрема універсальних колекторних двигунів (УКД), що застосовуються в електропобутовій техніці, важливе значення мають їхні механічна та швидкісна характеристики. Ці характеристики дозволяють оцінити динаміку двигуна, його реакцію на зміну навантаження, стабільність частоти обертання, а також ефективність регулювання при змінних робочих режимах. Візуальне представлення таких характеристик наведено на рисунку 1.1.

Особливості роботи універсальних колекторних двигунів на змінному струмі зумовлені як конструктивними особливостями двигуна, так і

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, регулювання швидкості обертання універсального колекторного електродвигуна може здійснюватися шляхом зміни струму в колі якоря. Це дозволяє впливати на електромагнітний момент двигуна і, відповідно, змінювати частоту обертання ротора. Такий принцип регулювання широко використовується в побутовій техніці, де потрібна плавна зміна швидкості в залежності від умов експлуатації або вибраного режиму роботи.

У джерелі [2] наведено базову електричну схему універсального колекторного двигуна, яка ілюструє основні принципи побудови такого електропривода. Ця схема представлена на рисунку 1.2.

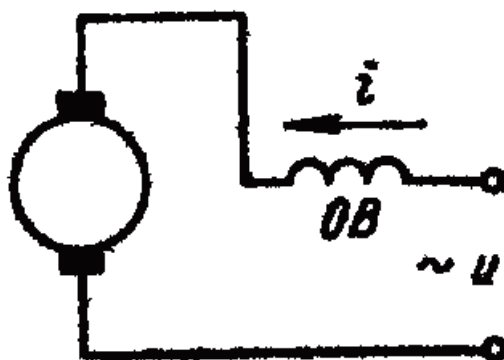


Рисунок 2.2 – Схема з'єднання обмотки збудження та якоря для універсального колекторного електродвигуна

Вона демонструє взаємодію обмоток збудження, якоря та джерела живлення в контексті змінного струму. Вона також служить основою для подальшої модернізації системи керування із застосуванням напівпровідникових елементів та мікроконтролерних пристроїв.

Із аналізу електричної схеми універсального колекторного двигуна видно, що струм, який протікає через обмотку якоря, дорівнює струму $i_{\text{я}}=i_{\text{оз}}=i$, що проходить через обмотку збудження.

Це пов'язано з тим, що обидві обмотки з'єднані послідовно і живляться від одного джерела змінної напруги. Такий принцип живлення спрощує

конструкцію, проте накладає певні обмеження на режим регулювання.

Розглянемо рівняння напруги для електричного кола універсального колекторного двигуна відповідно до [2]. Встановлена (миттєва) напруга на затискачах двигуна визначається як сума падіння напруги на активних опорах обмоток збудження R_{oz} і якоря $R_{я}$, а також E , яка виникає внаслідок обертання якоря в магнітному полі:

$$U_{ж} = E + i(R_{я} + R_{oz}), \quad (1.2)$$

де E – електрорушійна сила, що наводиться в обмотці якоря двигуна, В;

i – струм кола якоря та обмотки збудження електродвигуна, А;

$R_{я}$ – опір обмотки якоря двигуна, Ом;

R_{oz} – опір обмотки збудження електродвигуна, Ом.

Виходячи з цього електрорушійна сила буде рівною:

$$E = U_{ж} - i(R_{я} + R_{oz}) \quad (1.3)$$

Електрорушійна сила в обмотці якоря при кутовій швидкості ω і магнітному потоці Φ знаходиться із виразу:

$$E = k\Phi\omega, \quad (1.4)$$

де k - коефіцієнт, який визначається конструктивними даними двигуна, а саме: числом пари полюсів, числом активних провідників і рівнобіжних розгалужень обмотки якоря.

Із формули (1.4) формула для знаходження кутової швидкості ω буде мати наступний вигляд:

$$\omega = E/k \quad (1.5)$$

Підставивши у формулу (1.5) вираз для знаходження електрорушійної сили (1.3) було отримано:

$$\omega = \frac{U_{ж} - i(R_{я} + R_{oz})}{k\Phi} \quad (1.6)$$

Отже, з аналізу рівняння кола універсального колекторного двигуна випливає, що кутова швидкість обертання ротора (ω) прямо пропорційна

									Арк.
									12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

прикладеній напрузі U та обернено пропорційна магнітному потоку збудження Φ :

З фізичної точки зору це пояснюється так: збільшення прикладеної напруги U або зменшення магнітного потоку Φ спричиняє зростання різниці між напругою живлення і E , що, у свою чергу, призводить до збільшення струму в колі двигуна. Підвищений струм зумовлює зростання електромагнітного моменту, який, при незмінному навантажувальному моменті, призводить до прискорення обертання ротора, тобто до збільшення кутової швидкості.

На основі рівняння (1.6) можна зробити висновок, що регулювання частоти обертання двигуна може здійснюватися трьома основними способами: зміною напруги $U_{\text{ж}}$, що підводиться до двигуна; зміною магнітного потоку збудження Φ ; зміною активного опору R в колі якоря.

Крім того, для зміни напрямку обертання вала універсального колекторного двигуна необхідно змінити напрям магнітного поля збудження. Це досягається шляхом перестановки полюсів обмотки збудження або зміни полярності підключення джерела живлення до обмоток.

1.3 Регулювання моменту на валу електродвигуна

Момент $M_{\text{ст}}$, який створюється виробничим механізмом машини, залежить від її механічних властивостей та типу технологічного навантаження. У загальному випадку він може бути як постійним, тобто не залежати від кутової швидкості обертання ω , так і змінним - у разі, коли момент змінюється зі зміною швидкості. Це важливо враховувати при розрахунках і проектуванні системи електропривода, оскільки електродвигун повинен стабільно працювати з урахуванням навантаження, що змінюється в часі.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\omega = f(M) \quad (1.8)$$

Ця характеристика є фундаментальною для аналізу роботи електроприводу, оскільки дозволяє оцінити, як двигун реагує на зміну навантаження та які режими роботи можливі при різних моментах. Вона також є основою для побудови систем керування та вибору параметрів регулювання.

На рисунку 1.4 зображено типові механічні характеристики різних електричних двигунів. Вони поділяються на натуральні та штучні характеристики, які мають важливе значення при аналізі і проектуванні систем електропривода.

Натуральними механічними характеристиками (позначені на рисунку жирними лініями під номерами 1, 2, 3, 4) називають ті характеристики, що отримуються при роботі електричного двигуна в стандартному режимі, тобто: при підключенні двигуна безпосередньо до електричної мережі з номінальною напругою; без використання додаткових елементів у ланцюгах обмоток (таких як зовнішні опори в колі якоря, статора або ротора); для двигунів змінного струму - при номінальній частоті мережі.

Натуральна характеристика відображає реальну поведінку двигуна в стандартних умовах експлуатації. Саме на ній розміщується робоча точка з номінальними параметрами двигуна: $M_{\text{ном}}$ - номінальний момент; $\omega_{\text{ном}}$ - номінальна кутова швидкість обертання.

Ці параметри зазначаються в технічному паспорті електродвигуна та визначають його режим найефективнішої роботи.

Штучна характеристика (3') отримується шляхом втручання в електричне коло двигуна, наприклад, через додавання зовнішніх опорів або зміну напруги чи частоти живлення. Вона використовується для регулювання швидкості або обмеження пускового струму, але не відповідає паспортним умовам.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

моменту навантаження.

Початковий пусковий момент, або момент короткого замикання, відіграє вирішальну роль при запуску електроприводу, особливо якщо механізм має значне початкове навантаження. Максимальний момент, або момент перевантаження, для синхронних і асинхронних двигунів змінного струму зазвичай не перевищує 1,6–3,5 номінального значення. У той час як у двигунів постійного струму він теоретично не обмежений, проте на практиці лімітується умовами надійної комутації струму і становить у межах 2–8 від номінального. У асинхронних двигунах максимальний пусковий момент також називають перекидним або критичним.

Швидкість ідеального холостого ходу визначає граничну швидкість обертання двигуна при відсутності опору на валу і електромагнітного моменту. Це важливий орієнтир при аналізі потенційних режимів роботи привода.

Згідно з [2], момент універсального колекторного двигуна визначається як добуток конструктивної сталої, магнітного потоку збудження і струму якоря.

Ця залежність лежить в основі усіх алгоритмів керування універсальними колекторними двигунами та дозволяє ефективно регулювати обертовий момент, змінюючи як струм, так і збудження.

$$M = cI_a\Phi, \quad (1.9)$$

Враховуючи послідовну схему з'єднання якоря та обмотки збудження універсального колекторного двигуна (як показано на рис. 1.2), струм, що протікає через якор і обмотку збудження, є однаковим, тобто: $I_a = I_{oz} = i$,

Оскільки магнітний потік збудження Φ створюється струмом, який протікає через обмотку збудження, і залежить від магнітної характеристики магнітопроводу, то за умови ненасиченого стану магнітної системи магнітний потік буде прямо пропорційним струму:

Це співвідношення справедливе до моменту насичення магнітопроводу. Після досягнення насичення зростання струму не призводить до пропорційного зростання потоку, що слід враховувати при проектуванні та регулюванні приводу Відповідно:

$$\Phi = cI\alpha \quad (1.10)$$

Враховуючи, що струм у мережі змінного струму змінюється за синусоїдальним законом, струм, який протікає через обмотку збудження універсального колекторного двигуна, також матиме синусоїдальний характер. Оскільки магнітний потік Φ прямо пропорційний струму в обмотці збудження (до настання магнітного насичення), він також змінюватиметься синусоїдально.

У результаті взаємодії змінного магнітного потоку та змінного струму в якорі, електромагнітний момент, що утворюється на валу двигуна, набуває складнішої форми. Він буде складатися з двох основних компонентів: постійної (середньої) складової, яка забезпечує основну корисну дію двигуна - обертання вала; змінної (пульсуючої) складової, яка спричиняє коливання моменту протягом кожного періоду струму.

Це явище добре ілюструється на рисунку 1.6, де показано графік моменту двигуна за умови живлення від змінного струму. Змінна складова моменту може викликати вібрації, шум і коливання навантаження, що особливо помітно при низьких швидкостях обертання або в механізмах, чутливих до нерівномірного руху.

Тому при проектуванні систем керування та виборі режимів роботи універсального колекторного двигуна необхідно враховувати як середнє, так і пульсуюче значення моменту, особливо для побутової техніки, де важливі комфорт, тиша та довговічність.

										Арк.
										19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата						

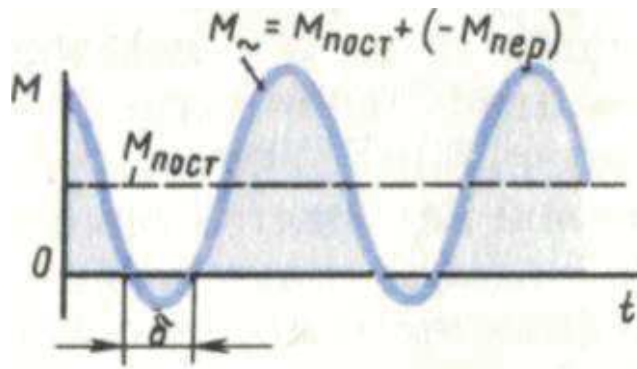


Рисунок 1.6 – Зміна моменту на валу універсального колекторного електричного двигуна від часу

Формула залежності моменту буде мати такий вигляд:

$$M = c \cdot \frac{\Phi}{\sqrt{2}} \cdot I_a \cdot \cos \delta , \quad (1.11)$$

де $\cos \delta$ - косинус кута між вектором струму якоря та вектором потоку обмотки збудження двигуна.

Отже, електромагнітний момент на валу універсального колекторного двигуна регулюється двома основними способами: зміною струму в колі якоря або зміною магнітного потоку, що створюється обмоткою збудження. Обидва методи безпосередньо впливають на значення моменту, оскільки згідно з основною формулою, момент прямо пропорційний добутку струму та магнітного потоку.

Важливо зазначити, що механічна та швидкісна характеристики двигуна є взаємозалежними і знаходяться у зворотній пропорції: зі зменшенням частоти обертання ротора спостерігається збільшення моменту на валу, і навпаки - зі зростанням швидкості момент зменшується. Ця властивість характерна для універсальних колекторних двигунів і є визначальною при розробці та аналізі систем керування.

Зважаючи на таку взаємозалежність, при розгляді систем регулювання і контролю електроприводу доцільно аналізувати механічну і швидкісну

характеристики в комплексі. Це дозволяє точніше моделювати поведінку двигуна в реальних умовах експлуатації та забезпечувати більш стабільну і керовану роботу побутових пристроїв, в яких ці двигуни застосовуються.

1.4 Огляд існуючих систем регулювання та контролю універсальних колекторних електричних двигунів

Однією з найпростіших схем регулювання швидкості універсального колекторного двигуна є схема з використанням регулятора потужності, описаного в джерелі [4]. Такий регулятор дозволяє змінювати напругу, що підводиться до двигуна, а отже - впливати на величину струму в його колі та, відповідно, на обертовий момент і частоту обертання вала.

У зазначеній схемі (рис. 1.7, аркуш [БРМА25.00.00.000ДО]) використовується пара триністорів і диністорів, що утворюють симетричний комутаційний елемент, здатний працювати зі змінною напругою. Така комбінація забезпечує можливість фазового регулювання, коли відкривання триністорів у кожному півперіоді відбувається із заданим затриманням, що й визначає ефективну напругу на навантаженні.

Максимальна потужність навантаження в даній схемі не повинна перевищувати 200 Вт, що обмежується допустимими параметрами використаних триністорів. Напругу на навантаженні можна плавно змінювати в широкому діапазоні - від 15 до 215 В, що дозволяє забезпечити гнучке регулювання швидкості обертання двигуна.

Завдяки простоті реалізації та доступності елементної бази така схема знаходить широке застосування в недорогих побутових пристроях - міксерах, вентиляторах, електроінструментах, де не вимагається висока точність або зворотний зв'язок.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

диністор, після чого спрацьовує триністор V1, подаючи напругу на навантаження вже з протилежною полярністю.

Таким чином, триністори відкриваються поперемінно, залежно від фази мережевої напруги. Кут відкриття (а отже й середнє значення напруги на навантаженні) визначається моментом, коли диністор спрацьовує - цей момент регулюється зсувом фази, що досягається зміною положення движка змінного резистора. Максимальне зсування, а отже мінімальне відкриття і найменша подана напруга на навантаження, відповідає положенню, при якому опір резистора є максимальним (нижнє положення движка за схемою).

Така схема забезпечує плавне регулювання потужності, є недорогою і простою у реалізації, що робить її популярною в побутовій техніці.

Диністори в схемі регулятора відіграють роль електронних ключів, що спрацьовують при досягненні певного порогового рівня напруги на відповідному конденсаторі. Завдяки цьому забезпечується точний момент відкриття триністорів незалежно від їх індивідуальних параметрів. Використання диністорів дозволяє добитися чіткого та синхронного запуску триністорів з однаковим зсувом фази, що значно підвищує стабільність роботи регулятора.

Резистори R2 і R4 виконують функцію обмеження струму через керуючі електроди триністорів, запобігаючи їх перевантаженню. Резистори R1 і R3 служать для стабілізації роботи схеми за умов коливання температури навколишнього середовища, компенсуючи температурну залежність параметрів напівпровідникових елементів.

Максимальна потужність навантаження, яку можна підключити до такого регулятора, безпосередньо залежить від типу триністорів, що використовуються. Зокрема, при застосуванні триністорів типу КУ202К–КУ202Н можливе підключення навантаження потужністю до 1000 Вт. Однак у такому випадку обов'язковою є установка триністорів на ефективні

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

підключати активне навантаження потужністю до 500 Вт, що розширює сферу його застосування.

Принцип роботи пристрою базується на двонапівперіодному фазовому керуванні симістором VS1, що дозволяє забезпечити електричному двигуну повну потужність, яка споживається з мережі. Такий принцип широко застосовується у побутовому електроінструменті, зокрема у дрелях, де використовується універсальний колекторний електродвигун.

Однак у подібних пристроях коло навантаження має індуктивний характер, що спричиняє специфічні труднощі при керуванні симістором. Після припинення подачі керуючого імпульсу струм у колі не припиняється миттєво через ефект самоіндукції, виникає ЕРС самоіндукції, яка може спричинити нестійку роботу симістора. Щоб запобігти цьому явищу, паралельно до симістора підключається ланцюг R8–C3, який виконує функцію демпфера - поглинає імпульси напруги, зменшуючи їх шкідливий вплив на елемент.

Живлення вузла керування симістором здійснюється через випрямляючий міст VD1–VD4 і стабілітрон VD5, які формують пульсуючу напругу. Резистор R1 служить для обмеження пікових значень мережевої напруги, підвищуючи надійність роботи елементів схеми.

Затримка відкриття симістора по фазі, яка визначає подану на навантаження потужність, встановлюється через час заряджання конденсатора C1. Заряд конденсатора здійснюється через резистори R2 і R3, джерелом є напруга стабілізована за допомогою стабілітрона VD5. Момент відкриття симістора залежить від рівня напруги на конденсаторі C1 та параметрів одноперехідного транзистора VT1. Як тільки напруга на C1 досягає порогу відкриття VT1, той починає проводити струм, і на резисторі навантаження R5 виникає імпульс напруги.

Цей імпульс підсилюється транзистором VT2 до рівня, достатнього для

										Арк.
										25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата						

вмикається різко, без необхідного уповільнення, через інерційність схеми.

Цих недоліків позбавлена електронна схема, наведена в [6] на рисунку 1.9. Вона забезпечує не тільки плавний пуск електричного двигуна, а й плавне та точне регулювання частоти обертання в широкому діапазоні. Особливістю цієї схеми є практична відсутність інерційності - навіть при повторному включенні пристрою відразу після виключення, вихідна напруга починає знову зростати поступово, а не подається миттєво.

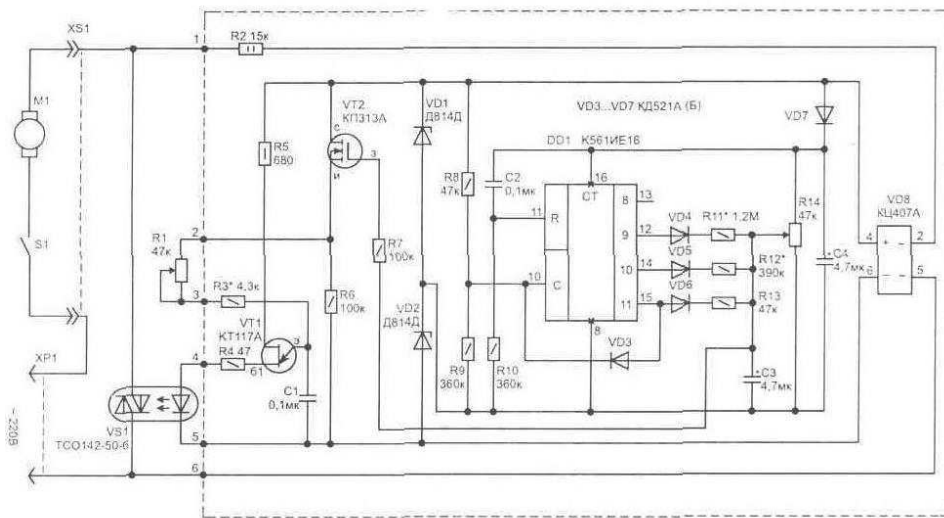


Рисунок 1.9 - Схема електронного регулятора із плавним пуском двигуна

Це дозволяє використовувати схему в побутовому електроінструменті, що часто запускається і зупиняється у процесі роботи. Плавний пуск не тільки зменшує механічні навантаження на двигун і редуктор, але й сприяє зниженню пускових струмів, підвищуючи довговічність та комфорт роботи з пристроєм.

Пристрій реалізується у вигляді окремої приставки, яка підключається між джерелом живлення та електричним інструментом. Такий підхід забезпечує універсальність пристрою: він може використовуватись з різними типами навантажень, включаючи електродвигуни побутового й промислового

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

призначення, із загальною потужністю до 5...10 кВт. Це розширює сферу його застосування — від ручного електроінструменту до стаціонарного обладнання. Для зручності користувача пристрій оснащено кнопкою ввімкнення, що значно підвищує комфорт експлуатації.

Суть роботи пристрою полягає у фазовому керуванні напругою, що подається на навантаження, за допомогою оптронного симістора VS1. Регулювання напруги досягається зміною кута відкриття цього симістора. Чим пізніше в межах півперіоду змінного струму відкривається симістор, тим менше енергії подається на навантаження, і навпаки.

Керуючі імпульси для відкриття симістора формуються автогенератором, зібраним на елементах VT1, C1, R3 та R1. У сталому режимі роботи польовий транзистор VT2, який увімкнений у коло заряду конденсатора C1, перебуває у відкритому стані та має низький опір між стоком і витком. Це дозволяє забезпечити стабільний процес заряджання конденсатора та, відповідно, формування керуючих імпульсів з чітко визначеним часовим інтервалом.

Завдяки цьому схема забезпечує: надійний та повторюваний пуск незалежно від кількості ввімкнень-вимкнень; рівномірне регулювання потужності; зниження механічних і електричних навантажень на інструмент.

Такий пристрій є ефективним рішенням для побутового та професійного використання, особливо в умовах, де необхідна плавність пуску й стабільне регулювання швидкості.

Силовий оптронний симісторний комутатор відкривається імпульсами, що синхронізовані з частотою змінної напруги електромережі. Синхронізація досягається за рахунок використання пульсуючої напруги живлення, яка подається на автогенератор, що формує керуючі імпульси. Момент відкривання симістора залежить від положення змінного резистора R1 - чим більший його опір, тим більша затримка і, відповідно, менша середня

									Арк.
									28
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

потужність, що подається на навантаження.

Для стабільної роботи симістора в умовах змінної температури навколишнього середовища необхідно, щоб через внутрішній світлодіод оптрона проходив струм не менше 80–100 мА. Це забезпечує гарантоване відкриття симістора незалежно від температурних впливів. Застосування одноперехідного транзистора дозволяє значно зменшити потужність джерела живлення вузла керування, оскільки енергія, необхідна для відкриття симістора, попередньо накопичується в конденсаторі С1, а потім вивільняється у вигляді короткого, але потужного імпульсу.

Режим плавного пуску реалізується з використанням цифрового лічильника на мікросхемі DD1. У момент увімкнення на вхід «С» мікросхеми через резистор R8 надходять імпульси пульсації мережевої напруги. Лічильник починає поетапно нарощувати логічні рівні на своїх виходах, і на кожному з них послідовно з'являється логічна «1». Ці сигнали підсумовуються з напругою, встановленою підлаштувальним резистором R14, що формує керуючу логіку.

Коли логічна «1» з'явиться на виході DD1/15, через діод VD3 сигнал потрапляє на вхід DD1/10, що зупиняє лічильник. Мікросхема фіксує поточний стан, і схема продовжує працювати вже в основному режимі без подальшого нарощування рівня керуючої напруги. Таким чином, забезпечується поступове підвищення напруги на навантаженні після включення, що реалізує функцію плавного пуску.

Це рішення є технологічно ефективним, недорогим і придатним для побутових та напівпрофесійних пристроїв, де важливо забезпечити надійний запуск двигуна без перевантаження мережі чи механіки.

Схема налаштовується таким чином, щоб транзистор VT2 у сталому режимі роботи залишався повністю відкритим. У цьому стані він має мінімальний опір між стоком і виток, що забезпечує безперешкодний заряд

									Арк.
									29
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

конденсатора С1, необхідний для формування імпульсів керування. При цьому мікросхема DD1 після завершення фази запуску більше не впливає на роботу пристрою, фактично вимикаючись з процесу керування, що гарантує стабільність основного режиму.

Щоб забезпечити правильну роботу схеми при кожному повторному включенні, необхідно, щоб лічильник DD1 щоразу стартував з нульового стану. Для цього в схемі передбачено коло на елементах С2–R10, яке формує короткий імпульс на вході R (скидання) мікросхеми DD1 в момент подачі живлення. Цей імпульс примусово обнуляє внутрішній лічильник, забезпечуючи повторне проходження повного циклу плавного пуску незалежно від попереднього стану схеми.

Схема демонструє високу ефективність у реалізації плавного пуску електричного двигуна, що знижує як електричне, так і механічне навантаження під час старту. Проте важливим її недоліком є відсутність зворотного зв'язку. У випадку зміни навантаження на валу двигуна, зокрема при його зростанні, частота обертання вала знижується. Через відсутність контролю цього параметра схема не здатна автоматично скоригувати рівень напруги для підтримання стабільної частоти обертання.

Це обмежує застосування схеми у випадках, коли потрібне динамічне регулювання частоти обертання в залежності від змін навантаження — наприклад, у побутових пральних машинах, компресорах чи вентиляторних установках. У таких випадках доцільно застосовувати схеми зі зворотним зв'язком, що дозволяють контролювати і підтримувати обрану швидкість обертання незалежно від зовнішніх умов.

Одним із практичних прикладів реалізації системи регулювання частоти обертання є схема регулятора обертів електричного двигуна пральної машини фірми Indesit, представлена на рисунку 1.10 (аркуш [БРМА25.00.00.000ДО]). Ця схема була відтворена під час ремонту блока

									Арк.
									30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

керування приводу барабана пральної машини-автомата. Подальша практика показала, що аналогічна схема, з мінімальними відмінностями, використовується також у пральних машинах інших виробників, зокрема в тих, де застосовується електромеханічний командоапарат для керування програмами прання.

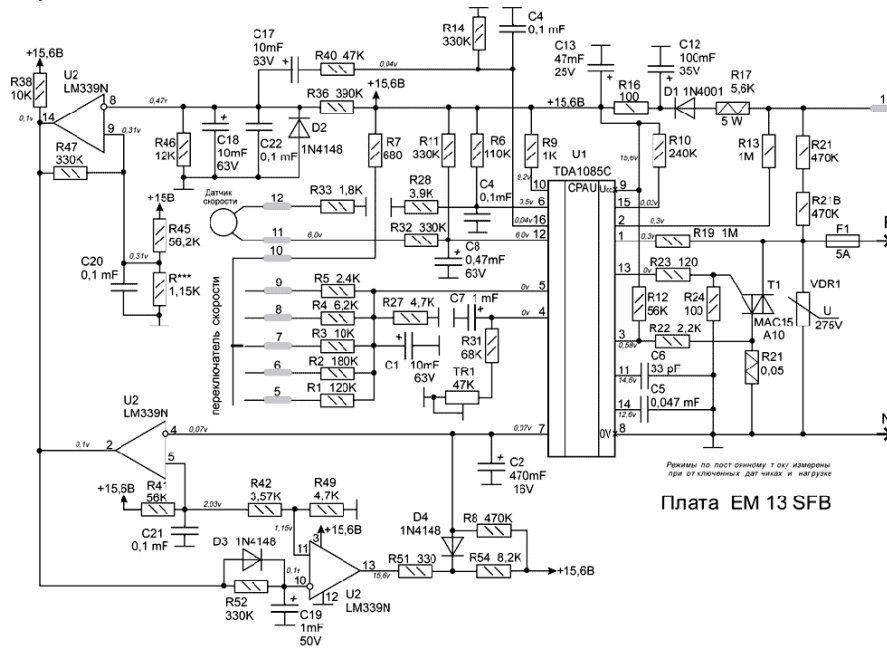


Рисунок 1.10 – Електросхема регулятора обертів електричного двигуна пральної машини Indesit

Пристрій забезпечує стабільне керування частотою обертання колекторного електродвигуна, що приводить у рух барабан пральної машини. Для забезпечення зворотного зв'язку і точного контролю швидкості обертання на валу двигуна встановлено тахогенератор — малогабаритний генератор постійного струму, вихідна напруга якого пропорційна швидкості обертання вала. Це дозволяє мікросхемі керування в реальному часі порівнювати заданий рівень обертів із фактичним і регулювати подачу напруги на двигун.

Основу схеми становить спеціалізована мікросхема TDA1085C, призначена для регулювання обертів двигунів змінного струму, зокрема колекторних. Подібну схему можна адаптувати й для інших типів побутової

техніки - кухонних комбайнів, швейних машин, настільних верстатів тощо. У такому випадку компаратор LM339N, що використовується в оригінальній пральній машині для формування плавної зміни швидкості обертання, можна вилучити разом із відповідною обв'язкою, якщо ці функції не потрібні.

Керування частотою обертання двигуна здійснюється подачею керуючої напруги у межах 0...10 В на вхід 5 мікросхеми. Цей аналоговий сигнал дозволяє плавно змінювати режим роботи двигуна в широкому діапазоні. Тахогенератором у даній схемі може бути використаний будь-який малогабаритний електродвигун постійного струму - наприклад, з дитячої іграшки - за умови, що його вал механічно зв'язаний з валом основного двигуна. Це значно спрощує реалізацію зворотного зв'язку без використання складних датчиків або енкодерів.

Подібна система керування поєднує високу точність, плавність регулювання, стабільність роботи під навантаженням і простоту реалізації, що робить її надзвичайно ефективною в побутовому та малогабаритному обладнанні.

Підстроювальний резистор TR1 у схемі регулятора використовується для встановлення початкового режиму обертання електродвигуна - тобто мінімальної частоти обертання, яка забезпечується при відсутності керуючого сигналу. Це дозволяє налаштувати базовий рівень швидкості в залежності від конкретного застосування.

Резистор R21 виконує функцію захисту від перевантаження за струмом. Його опір підбирається індивідуально відповідно до номінальних параметрів електродвигуна. У разі перевищення допустимого струму спрацьовує схема обмеження, що захищає двигун від перегріву або пошкодження при заклинюванні механізму чи надмірному навантаженні.

Хоча дана схема виявилася ефективною у застосуванні до пральних машин, де є достатньо місця для встановлення тахогенератора, її

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

використання в компактніших пристроях, таких як кухонні комбайни, мініатюрні приводи або електроінструменти, має певні обмеження. Основна проблема - це фізичні розміри тахогенератора, який у багатьох випадках є занадто громіздким для малогабаритних конструкцій.

Крім того, не всі типи виконавчих механізмів дозволяють конструктивно приєднати тахогенератор до вала двигуна, що унеможлиблює застосування такої схеми без суттєвої модифікації механічної частини. У таких випадках доцільно використовувати альтернативні методи зворотного зв'язку - наприклад, на основі вимірювання ЕРС або частоти імпульсів за допомогою оптичних або магнітних датчиків.

Тому, хоча схема на TDA1085C із тахогенератором і має високу точність і стабільність, її застосування доцільне переважно в пристроях з достатнім простором для монтажу і з конструктивною можливістю підключення зворотного зв'язку до вала електродвигуна.

Розробка сучасної системи регулювання частоти обертання універсального колекторного двигуна на базі мікроконтролера представлена в джерелі [8]. У якості основного обчислювального елемента в системі використовується мікроконтролер PIC16F84 виробництва компанії MicroChip. Управління реалізовано за допомогою імпульсного методу - тобто електрична напруга подається на двигун у вигляді високочастотних імпульсів через безконтактні керувальні елементи (наприклад, симістори або транзистори), що дозволяє ефективно регулювати подачу енергії.

Система керування має широкий набір функцій, серед яких:

– регулювання частоти обертання здійснюється зміною коефіцієнта заповнення імпульсів (КЗ) у межах 0...100 % з кроком 2 %. Такий підхід формує так звану «м'яку» механічну характеристику приводу: при зростанні навантаження частота обертання плавно зменшується, що зменшує ризик перевантаження двигуна та джерела живлення.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Застосовується принцип замкнутого управління з корекцією відхилення: фактична частота обертання порівнюється з заданою, і в разі розбіжності коефіцієнт заповнення автоматично коригується програмно. Це дозволяє підтримувати задану частоту з точністю $\pm 5\%$.

Система підтримує зміну напрямку обертання валу (реверс) шляхом комутації полярності поданих імпульсів.

Передбачено формування гальмівного сигналу при зупинці електропривода, що забезпечує більш контрольоване гальмування.

Реалізоване автоматичне вимкнення двигуна у разі сигналів від датчиків аварійного режиму або збою програми, що підвищує надійність і безпеку експлуатації.

Існує можливість керування двома електродвигунами одночасно з тимчасовим зсувом імпульсів керування, що дозволяє уникнути пікових навантажень на джерело живлення.

У мікроконтролері передбачене накопичення і збереження в енергонезалежній пам'яті інформації про сумарний час роботи електропривода, що важливо для обслуговування й аналізу ресурсів.

Система забезпечує візуальну індикацію вибраного алгоритму керування (зі стабілізацією частоти або без неї), напрямку обертання, а також поточного значення коефіцієнта заповнення, заданої і фактичної частоти обертання.

Принципова схема такої системи представлена на рисунку 1.11.

Її ядром є мікроконтролер DD1, що працює на тактовій частоті 10 МГц. Елементами керування є кнопки SB1 («Вперед»), SB2 («Стоп»), SB3 («Назад»), які підключені до розрядів RB0–RB2 порту В мікроконтролера.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

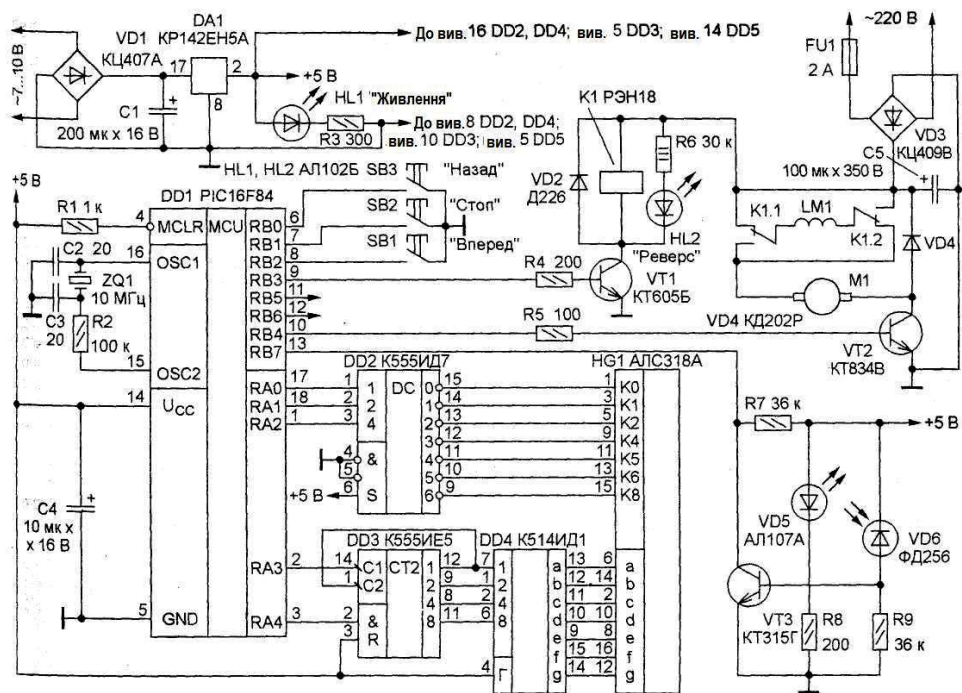


Рисунок 1.11 – Електрична принципова схема системи регулювання на мікроконтролері PIC16F84

Ця система демонструє, як за допомогою мікроконтролера можна реалізувати компактне, гнучке та високофункціональне керування електроприводами на базі колекторних двигунів.

У розробленій системі керування універсальним колекторним двигуном в якості силового елемента застосовується потужний транзистор КТ834В (VT2), який комутує подачу напруги на двигун за сигналом мікроконтролера. Такий підхід дозволяє реалізувати імпульсне керування напругою із високою частотою, ефективно регулюючи оберти двигуна без значних втрат потужності.

Функція реверсу двигуна реалізується шляхом перемикання обмотки збудження LM1 за допомогою реле К1. Це реле комутує обмотку таким чином, щоб змінити напрям магнітного потоку, а отже - і напрям обертання валу. Керування реле здійснюється транзистором VT1, який увімкнений у колекторному колі і керується сигналом із виводу RB3 мікроконтролера.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Контроль фактичної частоти обертання реалізовано через фотоелектричний датчик, підключений до виводу RB7 мікроконтролера. Датчик складається з інфрачервоного світлодіода VD5, фотодіода VD6, підсилювального каскаду на транзисторі VT3 та диска з двома отворами, встановленого на валу двигуна. Під час обертання валу, інфрачервоні промені періодично проходять крізь отвори диска, що призводить до короточасного освітлення фотодіода. Це викликає імпульси струму в колі транзистора VT3, які перетворюються у імпульси напруги.

Імпульси надходять на вхід RB7 мікроконтролера і спричиняють переривання - тобто програмний облік моментів проходження отворів диска. На основі виміряного інтервалу між імпульсами мікроконтролер обчислює частоту обертання валу, перетворюючи її у відносну величину щодо номінальної (3000 об/хв = 100%). Це дозволяє точно оцінити реальну швидкість двигуна та вносити відповідні корективи в керуючий сигнал.

Таким чином, система поєднує імпульсне керування, контроль швидкості через оптичний датчик і можливість реверсу, забезпечуючи надійну та гнучку платформу для автоматичного регулювання обертів у різних пристроях.

У системі керування на базі мікроконтролера реалізовано динамічне керування цифровим індикатором HG1 за допомогою п'ятирозрядного порту A. Виводи порту використовуються для подачі адресних та керуючих сигналів, що забезпечують циклічне оновлення інформації на семисегментному індикаторі у динамічному режимі.

Зокрема, через розряд RA3 інформація про чергову десяткову цифру, яка повинна відображатися на індикаторі, подається на вхід C1 двійкового лічильника DD3. Це дозволяє записувати значення у двійковому коді, що відповідає конкретній цифрі (0-9). Обнулення лічильника здійснюється через розряд RA4, який подає керуючий імпульс на вхід скидання.

									Арк.
									36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

автоматичного відключення пристрою у випадку аварійних режимів роботи, що підвищує безпеку експлуатації; високу стабільність підтримання заданої частоти обертання (до $\pm 5\%$); наявність візуальної індикації поточного режиму роботи, що спрощує контроль і діагностику системи.

Водночас, система має низку конструктивних недоліків: необхідність використання зовнішнього датчика швидкості (фотоелектричного або тахогенератора), який потрібно встановлювати безпосередньо на валу двигуна, що не завжди зручно або можливо конструктивно; потреба у додатковому діодному мосту для випрямлення змінної напруги в колі живлення; потреба у наявності додаткового джерела постійної напруги 7–10 В для живлення мікроконтролера, а також кварцового резонатора ZQ1 для генерації тактової частоти 10 МГц, необхідної для роботи мікроконтролера.

У зв'язку з розвитком мікроелектроніки, а також масовим виробництвом спеціалізованих мікросхем, все більш актуальним стає застосування таких мікросхем в електроприводах. Одним із провідних виробників подібних виробів є українське підприємство «Інтеграл». У технічній літературі [9] описано широкий асортимент мікросхем цього виробника, їх функціональні можливості та галузі застосування.

На рисунку 1.12 представлено одну з типових схем увімкнення спеціалізованої мікросхеми IL9010N - контролера універсального крокового двигуна. Цей тип мікросхем дозволяє значно спростити конструкцію і програмне забезпечення керуючих систем, забезпечуючи при цьому високу надійність, компактність і універсальність у застосуванні.

Мікросхема IL9010N призначена для керування колекторними електродвигунами і має ряд функціональних можливостей, які роблять її ефективним рішенням у побудові сучасних систем електропривода. Основні функції, які реалізуються за допомогою цієї мікросхеми, включають: стабілізацію швидкості обертання двигуна, що дозволяє підтримувати

виході, що переводить керуючу схему зі стану «ДОЗВОЛЕНО» в стан «ЗАБОРОНЕНО». Це дозволяє захистити систему при критичному рівні живлення або в разі аварійного стану.

Таким чином, ІL9010N дозволяє реалізувати повноцінну систему стабілізованого керування колекторним двигуном без використання зовнішніх засобів зворотного зв'язку, що істотно спрощує конструкцію і зменшує вартість реалізації приводу.

Додатково до основних функцій керування, схема на базі мікросхеми ІL9010N реалізує також тепловий захист електродвигуна, що здійснюється через елемент R3. Цей резистор виконує роль термозахисного елемента, який реагує на підвищення температури двигуна. При досягненні критичної температури схема фіксує зміну опору R3, що використовується як сигнал для аварійного відключення навантаження.

Захист від перевищення струму навантаження реалізований за допомогою окремої схеми, побудованої на елементах R1, R2, R4–R7, R17, а також діодах VD1–VD3, і підключеної до компаратора напруги, що інтегрований у мікросхему ІL9010N. Зокрема: вивід 13 - прямий вхід компаратора напруги; вивід 14 - інверсний вхід компаратора напруги; вивід 01 - вихід компаратора.

Принцип дії цієї схеми полягає в наступному: під час роботи електродвигуна через резистор R17 протікає струм навантаження. Якщо цей струм перевищує допустиме значення, на резисторі R17 виникає падіння напруги, яке перевищує пороговий рівень, заданий через опорну напругу на компараторі. У результаті компаратор перемикається, подаючи сигнал на блокування роботи мікросхеми ІL9010N.

У такому стані з виводу 04 мікросхеми припиняється подача імпульсів на керуючий електрод симістора. Як наслідок, симістор не відкривається, і навантаження (тобто електродвигун) відключається від мережі змінного

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

струму. Це забезпечує ефективний захист як самого двигуна, так і елементів живлення від перевантаження або короткого замикання.

Подібне інтегроване рішення значно підвищує надійність і функціональність електроприводу, одночасно спрощуючи конструкцію, оскільки не потребує зовнішніх модулів контролю струму чи температури.

Схема захисту, реалізована на основі мікросхеми IL9010N, забезпечує двонапівперіодний контроль струму навантаження - тобто відслідковує величину струму як у позитивному, так і в негативному півперіодах змінної напруги живлення, яка подається на електричний двигун та саму мікросхему.

У позитивному півперіоді захист забезпечується колом на елементах VD1 та резисторному дільнику напруги R5, R6, що підключені до прямого входу компаратора (вивід 13). При перевищенні струму навантаження потенціал на діоді VD1 зростає до рівня, достатнього для його відкриття. Це викликає відведення частини струму з дільника R5, R6, що призводить до зменшення напруги на прямому вході компаратора (вивід 13). У той же час напруга на інверсному вході компаратора (вивід 14) залишається вищою. Внаслідок цього компаратор спрацьовує, формуючи сигнал блокування.

Компаратор переводить схему контролю напруги живлення у стан «ЗАБОРОНЕНО», що викликає блокування мікросхеми IL9010N - тобто припиняється генерація імпульсів керування симістором, і електродвигун відключається від мережі.

У негативному півперіоді контроль виконується іншим колом, до складу якого входять резистор R1, діод VD2 та резистивний дільник R2, R3, R4, підключений до інверсного входу компаратора (вивід 14). При зростанні струму навантаження підвищується потенціал на резисторі R1, і, коли напруга на діоді VD2 досягає рівня відкриття, струм починає протікати через резистивний дільник, підвищуючи напругу на вході 14 компаратора.

Якщо ця напруга перевищує напругу на прямому вході (вивід 13),

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

компаратор знову спрацьовує - аналогічно позитивному півперіоду - і блокує роботу схеми керування. В обох випадках спрацювання компаратора зумовлює припинення подачі імпульсів на симістор, тим самим захищаючи електродвигун від перевантаження по струму в будь-якій фазі мережевої напруги.

Цей підхід забезпечує надійне, симетричне захисне вимкнення і не потребує складного вимірювання ефективного значення струму. Він ідеально підходить для побутових і промислових систем, де необхідна проста та ефективна електронна схема захисту.

Коло, утворене резистором R7 та діодом VD3, відіграє важливу роль у реалізації гістерезису компаратора напруги. Це означає, що рівень напруги, за якого компаратор перемикається з одного стану в інший (наприклад, з «Увімкнено» на «Вимкнено»), відрізняється від рівня, при якому компаратор повертається до попереднього стану. Такий підхід запобігає нестабільній роботі компаратора при незначних флуктуаціях струму або напруги поблизу порогового рівня - тим самим забезпечується чітке, стабільне спрацювання системи захисту.

Живлення мікросхеми IL9010N може здійснюватися напряму від мережі змінного струму через однопівперіодний випрямляч, який складається з елементів R5 і діода VD1, а також внутрішнього стабілізатора напруги на базі опорного діода, увімкненого у зворотному напрямку. Такий спосіб живлення дозволяє уникнути потреби у зовнішніх джерелах постійної напруги. Баластний резистор підбирається відповідно до струму споживання мікросхеми, з урахуванням оптимального режиму роботи випрямляча.

Внутрішній стабілітрон, інтегрований у мікросхему, підтримує напругу живлення на рівні 8,6 В щодо загального виводу (вивід 14), що забезпечує стабільну роботу електронної схеми незалежно від коливань напруги мережі в допустимих межах.

									Арк.
									42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

Серед основних переваг використання спеціалізованих мікросхем, таких як IL9010N, слід виділити: вбудований захист по струму навантаження, який реалізується без додаткових зовнішніх модулів; оптимальне комутування симістора, що дозволяє зменшити електромагнітні перешкоди та втрати при відкриванні; компактність схеми завдяки малій кількості зовнішніх компонентів, що значно спрощує проектування і зменшує вартість виробництва.

Ці переваги роблять такі мікросхеми доцільними для використання в побутовій електротехніці, електроінструменті, вентиляторах, міксерах, а також у малопотужних системах автоматизації.

Недоліками використання спеціалізованої мікросхеми типу IL9010N у системах регулювання електроприводу є обмежені можливості програмування під конкретні режими роботи. Така мікросхема не дозволяє реалізувати гнучкі алгоритми, адаптовані до специфіки певного застосування, що значно знижує універсальність системи. Крім того, ціна на подібні мікросхеми залишається досить високою, що робить їх менш придатними для масового використання в бюджетній побутовій техніці.

Альтернативним варіантом є схема електричного приводу з імпульсно-фазовим керуванням та бездатчиковою стабілізацією швидкості універсального колекторного електродвигуна, побудована на основі мікроконтролера MC68HC705JJ7. Цей мікроконтролер добре зарекомендував себе в різноманітних системах, особливо в побутовій техніці. Принцип його роботи подібний до розглянутої раніше мікросхеми IL9010N, проте дає значно більше можливостей з програмної точки зору, зокрема — налаштування частоти, плавного пуску, гальмування, а також реалізації додаткових алгоритмів без змін у схемотехніці.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Провівши аналіз переваг і недоліків вищенаведених схем, можна сформувати загальні вимоги до сучасної системи регулювання та контролю універсального колекторного двигуна. Найбільш доцільним є використання мікроконтролера, який забезпечує точне, ефективне й економічне керування. При цьому необхідно передбачити наявність зворотного зв'язку по вихідному параметру, зокрема частоті обертання вала двигуна. Датчики зворотного зв'язку мають бути безконтактними та не повинні впливати на роботу самого електродвигуна.

У силовій частині схеми доцільно застосовувати сучасні електронні елементи - симістори, транзистори типу MOSFET або IGBT, які мають високий ККД, знижені втрати енергії при перемиканні, а також компактні розміри та довготривалу надійність. Це дозволяє реалізувати високоефективні та функціонально розвинені системи електроприводів, адаптовані до вимог сучасної побутової техніки.

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі здійснено всебічний аналіз наявних технологічних і технічних рішень, які застосовуються у системах контролю та регулювання електричних двигунів. Розглянуто основні принципи регулювання швидкості обертання вала електродвигуна, а також методи впливу на величину обертового моменту. Особливу увагу приділено універсальним колекторним двигунам, які широко використовуються в побутовій техніці, зокрема електроінструменті, пральних машинах, кухонних комбайнах тощо.

У ході аналізу охоплено як прості аналогові схеми на симісторах і триністорах, так і більш складні мікроконтролерні системи з реалізацією

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

зворотного зв'язку та програмного керування. Також розглянуто переваги та недоліки кожного з підходів, що дозволяє обґрунтувати доцільність розробки нової системи регулювання, яка поєднує точність, енергоефективність і ергономіку.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОЛЕКТОРНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ

2.1 Контроль перевантаження та швидкості універсального колекторного електричного двигуна

Система керування швидкістю обертання та контролю навантаження універсального колекторного електродвигуна зазвичай реалізується за структурною схемою типу: керований перетворювач - електродвигун, доповненою зворотним зв'язком за регульованим параметром. У розглянутій конструкції таким параметром є кутова частота обертання вала двигуна, яка визначає швидкісний режим роботи машини.

Слід наголосити, що дана система є замкненою автоматизованою системою керування (ЗАСК), оскільки містить зворотний зв'язок, що забезпечує коригування вхідного сигналу на основі виміряного вихідного параметра. Подібні замкнуті структури особливо доцільні в тих випадках, коли необхідне стабільне утримання заданого режиму функціонування, що цілком відповідає вимогам до регулювання швидкості обертання колекторного двигуна в заданій конструкції.

Класичний приклад такої замкненої системи подано у вигляді структурної схеми системи регулювання універсального колекторного двигуна на рис.2.1 (аркуш [БРМА25.00.00.000Е1]).

На рис.2.2 наведено функціональну структурну схему системи регулювання швидкості, яка включає такі основні елементи:

- джерело живлення змінного струму (напругою 220 В), яке подає енергію до керованого перетворювача;
- керований напівпровідниковий перетворювач, який здійснює регулювання параметрів живлення кола якоря електродвигуна відповідно до

команди керування;

- універсальний колекторний електродвигун, у якому регулюється швидкість обертання за рахунок зміни напруги живлення;

- блок зворотного зв'язку, який формує зворотний сигнал $U_{зз}$, пропорційний регульованому параметру.

Режим роботи керованого перетворювача визначається вхідним керуючим сигналом $U_{вх}$, що подається на його керуючий вхід. Величина цього сигналу розраховується як різниця між сигналом завдання U_3 і сигналом зворотного зв'язку $U_{зз}$. У представленій системі сигналом зворотного зв'язку виступає протиелектрорушійна сила (ПЕРС), яка виникає в обмотці якоря електродвигуна в процесі його обертання.

Таким чином, система постійно порівнює фактичну швидкість обертання (через ПЕРС) із заданим значенням, і в разі відхилення автоматично коригує режим роботи перетворювача. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільну швидкість навіть при зміні навантаження, що є критично важливим для забезпечення точності та надійності в побутових і лабораторних електромеханічних пристроях.

Така залежність описується за наступним виразом:

$$E_a = \Phi n C_e \quad (2.1)$$

де E_a – проти електрорушійна сила в якорі обмотки електричного двигуна, В;

Φ – магнітний потік обмотки збудження двигуна, Вб;

n – частота обертання, об/хв;

C_e – постійний коефіцієнт, обумовлений конструкцією електродвигуна.

Контролювання параметрів універсального колекторного двигуна в системі регулювання здійснюється шляхом використання зворотного зв'язку.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розробка схеми регулювання та контролю універсального колекторного електричного двигуна

Одним із початкових і найважливіших етапів у процесі розробки системи керування є формулювання принципу її дії та побудова функціональної схеми. Принцип роботи системи був розглянутий у першому розділі. Він базується на управлінні струмом у колі якоря та обмотки збудження універсального колекторного двигуна за допомогою тиристорного перетворювача, контрольованого мікроконтролером. Контроль здійснюється за допомогою датчика струму, що дозволяє реалізувати замкнену систему із зворотним зв'язком.

Побудова функціональної схеми передбачає визначення основних функціональних вузлів, які забезпечують реалізацію необхідного принципу роботи системи. Одним із ключових вузлів є тиристорний перетворювач. З огляду на наявність сучасних напівпровідникових елементів, доцільним є використання симетричних тиристорів - симісторів. Їх застосування обумовлене здатністю працювати в обох напрямках змінного струму, тобто здійснювати керування як на позитивній, так і на негативній напівхвилі синусоїди.

Фазове керування симістором дозволяє точно регулювати величину напруги, яка надходить до навантаження, змінюючи кут відкриття. Це забезпечує плавне керування потужністю, що подається на електродвигун, без потреби у механічних регулювальних елементах. Завдяки цьому система має високу надійність, компактність та енергоефективність.

Симістор є оптимальним рішенням для застосування у системах змінного струму, де важливо забезпечити стабільне та ефективне керування навантаженням при живленні від стандартної електромережі ~ 220 В.

Основною складовою системи керування симістором у сучасному

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

електроприводі є мікроконтролер. Саме він виконує ключові функції: керування симістором, обробку сигналу зворотного зв'язку з урахуванням коефіцієнта підсилення $K_{зз}$, виконання функції додатного елемента, а також оброблення синхросигналів від мережі живлення. Мікроконтролер здатний приймати інформацію від відповідних сенсорних елементів, обробляти її відповідно до закладених алгоритмів і формувати керуючі сигнали для тиристорного перетворювача.

Ураховуючи високий рівень розвитку мікроелектроніки, сучасні мікроконтролери володіють широкими функціональними можливостями, що дозволяє не лише виконувати базове регулювання, а й реалізовувати складні алгоритми контролю і стабілізації параметрів роботи системи. Їх можна запрограмувати для виконання конкретних завдань: запуск, зупинка, плавне регулювання швидкості, захист від перенавантажень тощо.

Для коректної роботи системи мікроконтролер повинен отримувати сигнал зворотного зв'язку, який у цій системі представляє струм споживання двигуном. Цей струм є безпосередньо залежним від частоти обертання якоря, тому його постійний контроль дозволяє підтримувати стабільну роботу двигуна та оперативно реагувати на зміни навантаження.

Сигнал струму вимірюється за допомогою трансформатора струму, що є датчиком струму (ДС). Він генерує напругу пропорційну струму в колі якоря та обмотки збудження, яка подається на аналого-цифровий вхід (АЦВ) мікроконтролера. Завдяки цьому значення сили струму перетворюється в цифровий сигнал, який далі використовується у програмному модулі мікроконтролера для регулювання керуючих імпульсів, що подаються на силовий елемент - симістор.

Вузол синхронізації (ВС) у системі регулювання відіграє ключову роль у забезпеченні точного моменту ввімкнення силового симістора. Він генерує імпульс, що подається на вхід мікроконтролера (I/O) у моменти переходу

									Арк.
									51
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

належать симістори серії VT виробництва Philips Semiconductors, які добре зарекомендували себе в побутових та промислових застосуваннях. У запропонованій схемі керуючий симістор VS1 вмикається послідовно у коло обмоток збудження O31, O32 та якоря двигуна. Це забезпечує повне керування струмом, який протікає через усі основні елементи електродвигуна, і дозволяє стабілізувати та регулювати його швидкісні та механічні характеристики відповідно до заданих параметрів (рис.2.4), (аркуш [БРМА25.00.000Е3]).

Потрібно також виконати гальванічну розв'язку між силовою частиною, тобто симістором, та логічною частиною – мікроконтролером. Такий підхід дозволяє виключити ймовірність потрапляння високої напруги змінного струму на мікроконтролер, що могло б призвести до його пошкодження. Для цього застосовуються оптоелектронні напівпровідникові пристрої, які забезпечують електричну ізоляцію між вхідним (керуючим) та вихідним (силовим) ланцюгами.

До найбільш ефективних рішень належить використання оптосимісторів із вбудованим нуль-детектором, що реагує на проходження змінної напруги через нуль. Такий елемент забезпечує точне і стабільне керування симістором. Управляючий електрод силового симістора підключається через оптосимістор U2. На практиці добре зарекомендували себе оптосимістори фірми Motorola, зокрема серії MOC3061, MOC3062, MOC3063, а також 4N40, які вирізняються надійністю та високою чутливістю.

Струм, що протікає через оптосимістор U2, обмежується резистором R19. Його номінал необхідно підібрати відповідно до номінального струму як самого оптосимістора, так і симістора, до якого він підключений. Світлодіод оптосимістора керується мікроконтролером DD1 через транзистор VT3 типу KT315Б. Сигнал із порту PD0 мікроконтролера подається на базу VT3 через

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

кількість ліній для підключення елементів схеми – датчиків, вузла керування, індикації та інших модулів. Повні технічні характеристики цього мікроконтролера подані в додатку Б.

Для реалізації функції вимірювання струму в колі електродвигуна доцільно використати трансформатор струму TC1, що вмикається безпосередньо у коло обмоток двигуна. Для підвищення чутливості системи вимірювання пропонується підсилення вихідного сигналу трансформатора шляхом створення дільника напруги на резисторах R2 і R4. Сигнал із виходу дільника подається на вхід АЦП мікроконтролера, де він обробляється для подальшого аналізу в програмному забезпеченні системи керування.

Елементом вимірювання напруги, що падає на резисторі R1, у запропонованій схемі виступає аналого-цифровий вхід мікроконтролера DD1, зокрема порт PC0 (вивід 23). Отримана аналогова напруга перетворюється на цифровий сигнал за допомогою вбудованого АЦП і надалі обробляється програмно. Результатом обробки є формування сигналу на керуючий елемент – симістор VS1, що здійснює регулювання струму в колі електродвигуна, відповідно змінюючи частоту обертання та момент.

Функцію задання режимів роботи виконує панель із чотирма кнопками SB1–SB4, які під'єднані до портів PB4–PB1 (виводи 17–14 відповідно). Кожна з кнопок виконує окрему дію, визначену програмою мікроконтролера: запуск («Пуск»), зупинка («Стоп»), збільшення («+») і зменшення («-») частоти обертання. Для обмеження струму, що протікає через порти мікроконтролера, використовуються резистори R12–R15, номінали яких підбираються відповідно до допустимого навантаження портів та струму кнопок.

Стан системи візуалізується за допомогою трьох сигнальних світлодіодів VD2–VD4. Кожен світлодіод відповідає певному режиму: основний режим роботи, реверсивний режим та програмний режим. Вони

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

підключені до портів PC1–PC3 (виводи 24–26) через обмежувальні резистори R5–R7, значення яких вибираються з урахуванням характеристик світлодіодів і граничного струму портів мікроконтролера.

Вся система живлення побудована на базі однофазної електричної мережі змінного струму з напругою ~ 220 В, яка використовується для живлення силової частини схеми – зокрема електричного двигуна та керуючого симістора. Однак логічна частина системи, включаючи мікроконтролер та інші електронні елементи керування, потребує стабілізованої напруги постійного струму 5 В. Це обумовлює необхідність створення окремого блока живлення, що забезпечить надійну та безпечну роботу електронної частини пристрою.

Зважаючи на відносно малу потужність, яку споживає мікроконтролерна система управління, було обрано класичну схему джерела живлення. Вона реалізована за допомогою понижувального трансформатора Т1, який знижує напругу мережі до прийняттого рівня. Після трансформатора встановлено випрямляч на чотирьох діодах VD1–VD4, що утворюють діодний міст і перетворюють змінну напругу на пульсуючу постійну. Далі напруга згладжується конденсаторним фільтром, складеним із конденсаторів С2 та С3.

Для стабілізації вихідної напруги застосовується інтегральний стабілізатор типу KP142EH5A, який підтримує напругу на рівні 5 В, необхідну для роботи логічної частини системи. Такий стабілізатор має захист від перевантаження та перегріву, що підвищує надійність роботи всієї схеми. Електрична схема блока живлення детально показана на рис. 2.5.

									Арк.
									58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

побутовій техніці, таких як пральні машини чи ручний електроінструмент, система управління універсальним колекторним двигуном повинна передбачати можливість зміни напрямку обертання вала. Це забезпечує більшу функціональність та адаптивність системи до конкретних умов експлуатації.

Фізична суть процесу реверсування універсального колекторного двигуна полягає в зміні напрямку магнітного поля, що створюється в одному з контурів - або в колі якоря, або в обмотці збудження. Це досягається за рахунок зміни напрямку струму в відповідному колі, що змінює напрям дії електромагнітної сили. Таким чином, зміна напрямку обертання валу двигуна відбувається за рахунок зміни полярності підключення лише одного з контурів. Важливо зазначити, що одночасна зміна полярності як в якорі, так і в обмотці збудження не змінює напрямок обертання, оскільки взаємодія магнітних полів зберігається.

Найпростішим і найпоширенішим способом реалізації реверсу є перемикання полярності підключення за допомогою електромагнітних реле. Однак такий спосіб має низку суттєвих недоліків.

По-перше, котушки реле споживають значну кількість енергії, що знижує загальну ефективність системи.

По-друге, механічна робота реле супроводжується шумами, що є небажаним у побутових або малошумних промислових системах.

По-третє, механічні частини реле мають обмежену зносостійкість, що знижує надійність при тривалій експлуатації. І, нарешті, реле мають відносно великі розміри, що ускладнює мініатюризацію сучасних систем.

Більш сучасні підходи до реверсу передбачають використання твердотільних ключів або мікроконтролерів з релейними драйверами, що забезпечують безконтактне перемикання та мають значно вищу надійність.

Перспективним рішенням для реалізації реверсу універсального

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

колекторного двигуна є використання твердотільних реле, побудованих на базі напівпровідникових елементів, зокрема оптодiodів у парі зі світлодіодами. Одним із прикладів таких пристроїв є твердотільне реле фірми Sharp, тип S101S06V. Цей компонент поєднує в собі компактність, енергоефективність та надійність, що робить його доцільним для використання в сучасних системах електроприводу.

Технічні характеристики реле S101S06V наведено в додатку В, а його внутрішня будова показана на рисунку 2.6. Серед основних переваг слід відзначити наявність вбудованого детектора переходу напруги через нуль. Завдяки цьому комутація здійснюється в моменти, коли струм у колі мінімальний, що значно знижує електромагнітні завади та втрати на перемикання. Такий підхід підвищує електромагнітну сумісність пристрою та зменшує навантаження на електронні компоненти.

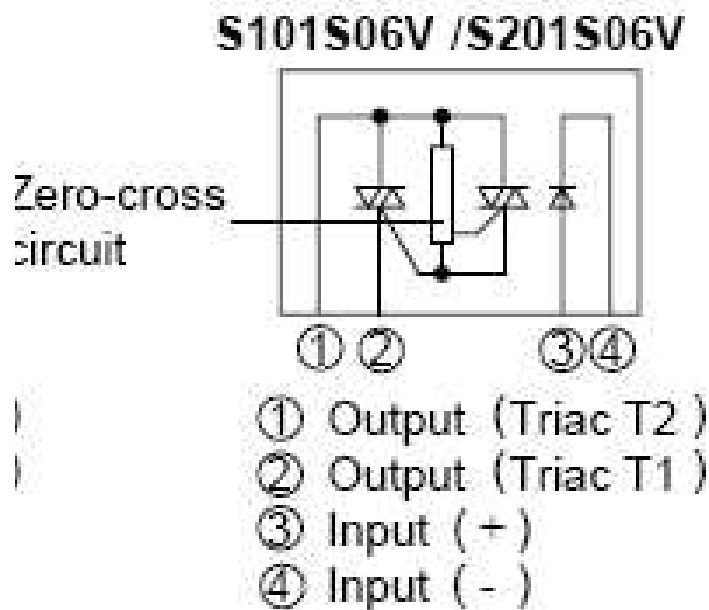


Рисунок 2.6 – Внутрішня будова твердотільного реле компанії Sharp типу S101S06V

Малий розмір і відсутність рухомих частин забезпечують високу механічну зносостійкість і зменшують шум під час роботи. Усе це робить

протікає на базу цих транзисторів обмежується резисторами R9 та R10 відповідно. Струм у колі світлодіодів твердотільних реле обмежується резисторами R16, R17. Система реверсу працює таким чином, що при подачі сигналу мікроконтролеру на порт PD0 – відкривається плече із реле U4-U5, а при подачі сигналу на порт PD1 - відкривається плече із реле U3-U6, що змінює напрям обертання якоря універсального колекторного двигуна.

2.3 Розробка та виготовлення конструкції обладнання для регулювання та контролю параметрів універсального колекторного електродвигуна

2.3.1 Розробка друкованої плати

Розробка друкованої плати виконується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення P-CAD. Це програмне забезпечення призначене для складання електричних принципів схем, елементи яких містять як графічне позначення, так і габаритні розміри, а також розташування контактних площадок та отворів. Під час складання схем із використанням бібліотек радіокомпонентів створюється повна функціональна електрична схема, елементи якої поєднані лініями зв'язку відповідно до заданої логіки роботи.

На наступному етапі ця схема трансформується у макет друкованої плати шляхом автоматизованого або ручного оптимального розміщення компонентів і провідникових доріжок. Програмне забезпечення P-CAD містить кілька основних підпрограм: Schematic - редактор електричних схем та PCB - редактор друкованих плат. Допоміжні підпрограми використовуються для створення і налаштування бібліотек радіокомпонентів відповідно до вимог проекту.

Однією з важливих функціональних можливостей P-CAD є ручне

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

розташування елементів, при якому автоматично враховуються мінімальні відстані між доріжками, отворами та контактними площадками, що унеможлиблює їх неправильне розміщення. Програма постійно контролює процес проектування, виявляє помилки та повідомляє про них користувача, забезпечуючи надійність і відповідність проекту стандартам.

Система проектування P-CAD має широкий спектр можливостей, які дозволяють ефективно та якісно створювати електронні пристрої. Зокрема, вона підтримує графічне введення електричних схем, пакування електричної схеми на друковану плату, інтерактивне розміщення компонентів на друкованій платі, а також ручне та автоматичне трасування доріжок. Додатково, програма забезпечує відслідковування помилок на всіх етапах проектування, дозволяє виготовляти необхідну документацію для виробництва друкованої плати та створювати спеціальні файли для нанесення рисунку й свердління отворів. Також користувач має змогу створювати власні бібліотеки компонентів, що значно спрощує і прискорює роботу.

На основі вищенаведених можливостей, технічної літератури з вивчення програмного забезпечення [16], а також створених бібліотек компонентів, виконується побудова електричної схеми системи регулювання та контролю універсального колекторного двигуна. Після цього автоматизовано виконується розміщення елементів на друкованій платі та трасування доріжок. У результаті отримано компактну друковану плату розміром 110x80 мм з одностороннім розміщенням провідникових доріжок та чотирма провідниковими перемичками.

Конструкція друкованої плати є зручною для виготовлення та не вимагає високої точності при розміщенні контактних майданчиків, отворів та доріжок. Зовнішній вигляд розробленої плати представлено на рис.2.8 (аркуш [БРМА25.00.00.000МК]).

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

матеріалів, що дозволяє отримати високоточне зображення електричних доріжок;

- офсетний метод ґрунтується на виготовленні друкарських форм, які дозволяють нанести позитивне або негативне зображення на заготовку плати;
- трафаретний метод забезпечує друк зображення за допомогою спеціальних трафаретів;
- метод пресування дозволяє створити рельєфну поверхню шляхом механічного впливу;
- штампова технологія передбачає вирубку зображення з фольги спеціальними прес-формами;
- ксерографічний метод застосовується для перенесення рисунка з використанням напівпровідникових шарів;
- гравірування здійснюється шляхом механічного видалення фольги за допомогою фрезерного устаткування.
- рисування вручну використовується переважно в лабораторних умовах чи на етапі макетування.

Кожен з цих методів має свої переваги та застосовується в залежності від вимог до точності, вартості, серійності виробництва та доступного обладнання.

Для виготовлення друкованої плати, розробленої у програмному середовищі P-CAD, обирається офсетний спосіб перенесення рисунка та застосування травильних розчинів. Такий підхід дозволяє точно і якісно реалізувати конструкцію електричних з'єднань. Першим етапом є нанесення позитивного зображення плати на односторонній фольгований склотекстоліт із використанням офсетної установки. Зображення, створене у P-CAD, переноситься на поверхню плати, після чого рисунок закріплюється.

Далі заготовку занурюють у гальванічну ванну, де здійснюється процес травлення – видалення непотрібних ділянок фольги. Це дозволяє отримати

									Арк.
									66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

провідникові доріжки відповідно до заданої електричної схеми. Після завершення травлення друковану плату ретельно промивають від залишків розчину та знімають офсетне покриття.

Наступним кроком є свердління монтажних отворів відповідно до креслення. Для точності їхнього розміщення отвори попередньо закернюють, а сам процес свердління виконується на відповідному верстаті з урахуванням заданих діаметрів.

Після цього проводиться лудження доріжок – нанесення шару припою для покращення паяльних властивостей. Цей процес здійснюється за допомогою спеціального пристрою, що рівномірно розподіляє припій по металізованій поверхні плати з використанням флюсу.

Монтаж елементів електричної схеми виконується монтажниками із використанням паяльників або сучасних паяльних станцій згідно з монтажною схемою. Важливо точно та акуратно розташувати всі мікросхеми, транзистори, діоди та інші елементи. Монтажний процес починається з розміщення елементів на платі та включає такі основні етапи: подача радіоелементів у зону встановлення, орієнтування виводів відносно монтажних отворів, а також фіксація елементів у відповідному положенні.

Порядок розміщення компонентів визначений з метою зручності: спочатку монтуються резистори, потім конденсатори, і лише після цього — мікросхеми. Найдоцільніше розміщувати всі компоненти на стороні друкованої плати, протилежній до тієї, де прокладено провідники, оскільки це полегшує процес паяння та забезпечує більшу надійність монтажу.

Усі елементи повинні бути міцно закріплені на платі з метою уникнення їх зсуву або пошкодження під час експлуатації або монтажу. Закріплення здебільшого здійснюється за допомогою виводів: вони вставляються у відповідні отвори, підгинаються для фіксації, а потім припаюються до провідників. Це забезпечує надійний механічний контакт та

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

електричну провідність між елементом та провідником плати.

Операцію пайки виконують із використанням електричного паяльника з напругою живлення не більше ніж 36 В, що забезпечує безпечні умови роботи. Як матеріали для пайки використовують олов'яно-свинцевий припій марки ПОС-61, який характеризується хорошою плинністю та низькою температурою плавлення, а також канифоль, що служить флюсом для поліпшення з'єднання та очищення поверхонь, які підлягають пайці.

Останнім технологічним етапом є нанесення захисного лакового покриття на плату з розміщеними елементами. Це покриття захищає друковану плату від впливу вологи, пилу та інших факторів зовнішнього середовища, які можуть виникати під час експлуатації пристрою. Перед нанесенням лаку обов'язково потрібно перевірити плату на працездатність, тобто здійснити електричне тестування, щоб виявити можливі дефекти монтажу або пайки.

Після завершення всіх перелічених операцій друкована плата вважається готовою до остаточного монтажу в корпус пристрою, де вона буде виконувати свої функції у складі системи регулювання універсального колекторного електродвигуна.

2.3.3 Розробка та виготовлення корпусу

Корпус є важливою складовою при застосуванні пристрою, особливо у випадку розробленої системи регулювання та контролю універсального колекторного двигуна електропобутової техніки, оскільки пристрій працює з небезпечною напругою. Корпус виконує низку функцій, а саме: слугує основою для кріплення всіх елементів приладу; запобігає попаданню механічних частин всередину пристрою; захищає елементи від дії вологи, пилу та бруду; та, найголовніше, убезпечує людину від дотику до

										Арк.
										68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата						

струмопровідних частин, що знаходяться під високою напругою.

Зважаючи на це, корпус повинен виготовлятися з дотриманням вимог техніки безпеки, відповідних стандартів та основ ергономіки. Матеріали для виготовлення корпусу можуть бути двох основних типів: металеві (наприклад, алюміній або тонколистовий метал) — відзначаються високою міцністю, але потребують додаткової ізоляції; та діелектричні — різноманітні пластики, які не проводять струм і краще пристосовані для безпеки користувача. Остаточний вибір матеріалу залежить від умов експлуатації пристрою, вимог до тепловідведення та естетичних міркувань.

Слід також враховувати габарити і розміщення виносних пристроїв індикації, таких як світлодіоди, та елементів керування — кнопок. Це важливо як з точки зору ергономіки, так і для забезпечення надійного монтажу та зручності експлуатації. Корпус пристрою виготовляється з листів вініпласту товщиною 5 мм. Його основними частинами є нижній лист, який виконує функцію основи, та верхній лист, що слугує панеллю керування. Бічні прямокутні стінки з'єднуються між собою шляхом склеювання, а основа та панель фіксуються за допомогою гвинтів М6 і М5 відповідно.

Для додаткової жорсткості та точного збирання корпусу, по периметру внутрішніх поверхонь бічних стінок приклеюються рейки квадратного профілю через одну, як зображено на рисунку 2.9 (аркуш [БРМА25.00.00.000ГК]). На основі корпусу згідно з монтажною схемою розміщується трансформатор, автоматичні вимикачі та друкована плата (рисунок 2.10, аркуш [БРМА25.00.00.000МК]).

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

У верхній панелі керування виконуються отвори для монтажу рукоятки автоматичного вимикача, корпусів запобіжників, кнопок керування та світлодіодів. Після встановлення всіх компонентів здійснюється монтаж з'єднувальних провідників і їх надійна ізоляція. У задній стінці корпусу виконується отвір діаметром 8 мм для введення шнура живлення. Для поліпшення стійкості та підвищення ергономічності конструкції, на дно корпусу прикріплюються чотири полімерні ніжки.

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі було виконано всебічну розробку пристрою для регулювання та контролю параметрів універсального колекторного електродвигуна, який застосовується в електропобутовій техніці. Зокрема, розглянуто принципи побудови автоматизованої системи керування, що включає регулювання швидкості обертання вала двигуна та захист від перевантаження. Розроблено функціональну та електричну схеми пристрою, з урахуванням використання сучасних мікроконтролерів, елементів гальванічної розв'язки, системи живлення, синхронізації з мережею живлення, а також вузла реверсу.

Також детально описано процес проектування друкованої плати за допомогою програмного забезпечення P-CAD, включаючи вибір компонентів, трасування доріжок і створення монтажної документації. Після цього розглянуто повний технологічний цикл виготовлення друкованої плати, включаючи нанесення рисунка, травлення, свердління, лудіння та монтаж елементів. Здійснено розробку корпусу пристрою відповідно до вимог техніки безпеки та ергономіки, з описом матеріалів, кріплення, розміщення елементів керування та підключення.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПРИБОРУ ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОЛЕКТОРНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ДВИГУНА

3.1 Розрахунок керуючого елемента

Виконаємо розрахунок ключових елементів розроблюваної системи, зокрема: симістора VS1, опто-симістора U2, обмежувального резистора R19 у колі керування, резистора R18 у колі гальванічної розв'язки, а також резистора R11, що обмежує струм навантаження на порт PD0 мікроконтролера.

Для цього попередньо визначимо пікове значення струму споживання універсального колекторного двигуна.

Приймаємо умовну середню потужність навантаження $P_{cp}=300\text{Вт}$ при номінальній напрузі живлення $U_n=220\text{В}$. Середнє значення струму I_{cp} визначається за формулою:

$$I_{cp}=P_{cp}/U_n, I_{cp} = P_{cp} / U_n, \quad (3.1)$$

де P_{cp} – максимальна середня потужність, Вт;

I_{cp} - максимальний середній струм, А;

U_n – номінальна напруга живлення, В

Підставивши значення отримаємо:

$$I_{cp} = 300/220 = 1,36 \text{ А.}$$

Знаходимо максимальний піковий струм, який визначає параметри пошуку симістора:

									Арк.
									72
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

$$I_{\max} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{cp}}, \quad (3.2)$$

де I_{\max} - піковий максимальний струм, А.

Відповідно:

$$I_{\max} = \sqrt{2} \cdot 1,36 = 1,93 \text{ А.}$$

Обираємо симістор VS1 типу BT136 виробництва Philips Semiconductors, який здатен комутувати струм до 3 А. Це значення з достатнім запасом покриває розраховану величину максимального пікового струму навантаження, що забезпечує надійність роботи системи в умовах можливих перевантажень. Номінальне значення струму, необхідного для керування електродом симістора, становить $I_{\text{KVS}}=10 \text{ мА}$.

У якості опто-симістора обрано елемент типу 4N40 фірми Fairchild Semiconductor, який має максимальний струм керування $I_{\text{KVT}}=1 \text{ А}$. Це відповідає умові забезпечення ефективного збудження керуючого електрода симістора VS1 через оптоелемент і забезпечує гальванічну розв'язку між низьковольтною логічною частиною (мікроконтролером) і силовим колом.

$$I_{\text{KVT}} > I_{\text{KVS}} \quad (3.3)$$

Обмеження струму у вітці керування симістором здійснюємо за допомогою резистора R19, опір якого визначається за формулою:

$$R_{19} = U_{\text{H}}/I_{\text{KVS}}, \quad (3.4)$$

де U_{H} – номінальне значення напруги, В;

R_{19} – опір обмежувального резистора R19, Ом;

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

I_{kvs} - номінальний струм керуючого електрода симістора VS1, А

За формулою (3.4), було знайдено опір обмежувального резистора R_{19} :

$$R_{19} = 220/0,01 = 22000 \text{ Ом.}$$

Враховуючи нормальний ряд номіналів опорів [8], було прийнято значення $R_{19}=20 \text{ кОм}$.

Розрахунок потужність P_{R19} резистора R_{19} здійснюємо за виразом:

$$P_{R19} = (I_{kvs})^2 * R_{19}, \quad (3.5)$$

Підставивши значення було отримано:

$$P_{R19} = 0,01^2 * 20000 = 2 \text{ Вт.}$$

На вході опто тиристора U_2 буде вмонтовано світлодіод, номінальний струм якого становить 5 мА. Опір обмежувального резистора R_{18} визначається за формулою:

$$R_{18} = U_{iu2}/I_{u2}, \quad (3.6)$$

де I_{u2} - номінальний струм світлодіода, А;

R_{18} – опір резистора обмежувального R_{18} , Ом;

U_{iu2} – напруга на вході оптотиристора U_2 , В;

Підставивши значення отримаємо:

$$R_{18} = 5/0,005 = 1000 \text{ Ом.}$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Потужність P_{R18} зазначеного резистора знаходиться за наступною формулою:

$$P_{R18} = (I_{u2})^2 * R_{18}, \quad (3.7)$$

Підставивши значення було отримано:

$$P_{R18} = 0,005^2 * 1000 = 0,025 \text{ Вт.}$$

Було вибрано стандартизований номінал потужності: $P_{R18} = 0,0625 \text{ Вт.}$

Опір резистора обмеження навантаження порту PD0 мікроконтролера R_{11} знаходиться за наступним виразом:

$$R_{11} = U_p / I_{np}, \quad (3.8)$$

де U_p – номінальна напруга на виході порту мікроконтролера, В;

R_{11} – опір обмежувального резистора R_{11} , Ом;

I_{np} - номінальний вихідний струм порту мікроконтролера, А

Для типу мікроконтролера AT90S4433 $U_p = 5 \text{ В}; I_{np} = (10...20\text{мА}).$

Виходячи з цього було отримано:

$$R_{11} = 5/0,01 = 500 \text{ Ом.}$$

Було прийнято $R_{11} = 1000 \text{ Ом.}$ Виходячи з цього потужність P_{R15} резистора складає:

$$P_{R11} = (I_{np})^2 * R_{11}, \quad (3.9)$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$P_{R11} = 0,01^2 * 1000 = 0,1 \text{ Вт.}$$

Було обрано стандартизований номінал потужності:

$$P_{R11} = 0,125 \text{ Вт.}$$

3.2 Розрахунок елементів датчика струму

У якості зворотного зв'язку в системі використовується трансформатор струму ТА1, у якого первинна обмотка складається лише з одного витка. Вторинна обмотка трансформатора замикається на резистор навантаження R1, на якому виникає падіння напруги, що пропорційне величині струму в первинному колі. Це падіння напруги знімається та подається на аналоговий вхід мікроконтролера через вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

Враховуючи, що мікроконтролер має АЦП з максимально допустимою напругою на вході до 5 В, кількість витків вторинної обмотки трансформатора струму слід розрахувати так, щоб при максимальному струмі в первинному колі напруга на резисторі R1 не перевищувала ці 5 В.

Виходячи з цього було отримано:

$$R_n * I_{дат} < 5 \text{ В} = U_{adc}, \quad (3.10)$$

де $I_{дат}$ - струм датчика на вторинній обмотці ($I_{дат} = I_2$) ТА1, А;

R_n – опір навантажувального резистора R1, Ом;

U_{adc} – номінальна напруга на вході АЦП мікроконтролера, В.

Максимальний струм навантаження складає $I_{max} = 3\text{А}$. Він є вихідною величиною для розрахунку.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Для знаходження струму на вторинній обмотці, слід задатися опором резистора $R_1 = 100 \text{ Ом}$ і за виразом (3.10), струм складатиме:

$$I_2 = U_{\text{адс}}/R_H = 3/100 = 0.03 \text{ А.} \quad (3.11)$$

Потужність P_{R1} резистора R_1 визначається із виразу (3.9):

$$P_{R1} = 0,03^2 * 100 = 0,09 \text{ Вт.}$$

З урахуванням співвідношення між струмами у первинному та вторинному колі трансформатора струму, яке обернено пропорційне кількості витків у відповідних обмотках, отримаємо вираз, що дозволяє визначити необхідну кількість витків вторинної обмотки для забезпечення заданого рівня струму. Це співвідношення має вигляд:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}, \quad (3.12)$$

де I_1 - струм у первинній обмотці ТА1, А;

I_2 - струм у вторинній обмотці ТА1, А.

N_1 - кількість витків у первинній обмотці ТА1, $N_1 = 1$;

N_2 - кількість витків у вторинній обмотці ТА1.

Виходячи з формули (3.12), можна знайти кількість витків у вторинній обмотці:

$$N_2 = \frac{N_1 \cdot I_1}{I_2}. \quad (3.13)$$

Підставивши значення було отримано:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$N_2 = \frac{1 \cdot 3}{0.03} = 100 \text{ витків.}$$

Для забезпечення роботи мікроконтролера в режимі вимірювання струму до 3А необхідно намотати вторинну обмотку трансформатора струму з такою кількістю витків, яка забезпечить необхідний рівень вихідної напруги, що не перевищує допустиме значення для аналогово-цифрового перетворювача (до 5 В). Це гарантує точність вимірювання та безпечний режим роботи мікроконтролера.

3.3 Розрахунок вузла синхронізації

Опір струмообмежувального резистора R3 у вузлі синхронізації визначається згідно із законом Ома, виходячи з необхідного струму для світлодіода оптоелемента U1 ($I_{\text{нл}} = 10 \text{ мА}$) та напруги електричної мережі ($U_m = 220 \text{ В}$):

$$R_3 = 220/0.01 = 22000 \text{ Ом.}$$

Було прийнято $R_3 = 20 \text{ кОм}$.

Потужність резистора P_{R3} визначається знаходиться із виразу (3.7).

Тоді:

$$P_{R3} = 0,01^2 * 20000 = 2 \text{ Вт.}$$

3.4 Розрахунок вузла реверсу

Вузол синхронізації складається із 4-х твердотільних реле U3-U6 типу S101S06V фірми Sharp, які включаються попарно від сигналу, що надходить

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

від мікроконтролера та підсилюється транзисторами VT1 та VT2. Виходячи з цього здійснимо розрахунок обмежувальних резисторів. Номінальний струм тиристора в твердотільних реле є рівним 4А. Це задовольняє технічні вимоги, що були поставлені на проектування системи керування та контролю.

На вході твердотільного реле U3,U6 є світлодіоди. Їх номінальний струм складає 50 мА. Обмежувальний опір резистора R17 визначається із формули:

$$R_{17} = U_{iu36}/I_{u36}, \quad (3.14)$$

де I_{u36} - номінальний струм світлодіода, А;

R_{17} – опір обмежувального резистора R17, Ом;

U_{iu36} – напруга на вході оптотиристора U3 та U6, В;

Підставивши значення було отримано:

$$R_{17} = 5/0,05 = 100 \text{ Ом}$$

Потужність резистора P_{R17} знаходиться за наступним виразом:

$$P_{R17} = (I_{u2})^2 * R_{17}, \quad (3.15)$$

$$P_{R17} = 0,05^2 * 100 = 0,25 \text{ Вт.}$$

Опір резистора обмеження навантаження порта PD1 мікроконтролера R10 знаходиться із виразу:

$$R_{10} = U_p/I_{np}, \quad (3.16)$$

де U_p – номінальна напруга на виході порта мікроконтролера, В;

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

R_{10} – опір обмежувального резистора R_{10} , Ом;

I_{np} - вихідний номінальний струм порта мікроконтролера, А

Для мікроконтролера типу AT90S4433 $U_p = 5$ В; $I_{np} = (10...20)$ мА).

Підставивши значення було отримано:

$$R_{10} = 5/0,01 = 500 \text{ Ом.}$$

Було прийнято $R_{10} = 1000$ Ом. Відповідно потужність P_{R10} резистора становитиме:

$$P_{R10} = (I_{np})^2 * R_{10}, \quad (3.17)$$

$$P_{R10} = 0,01^2 * 1000 = 0,1 \text{ Вт.}$$

Було обрано стандартизований номінал потужності, що рівняється $P_{R10} = 0,125$ Вт.

Аналогічними будуть елементи другого плеча реверсу $U5$ та $U6$, тобто було отримано:

$$R_{16} = 100 \text{ Ом; } P_{R16} = 0,25 \text{ Вт;}$$

$$R_9 = 1000 \text{ Ом; } P_{R9} = 0,125 \text{ Вт.}$$

3.5 Розрахунок блока живлення

3.5.1 Розрахунок загальної потужності системи

Загальна потужність споживання системи управління та контролю визначається як сума потужностей, які споживають усі електронні

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

компоненти схеми: мікроконтролер, оптосимістори, світлодіоди, транзистори, індикатори та допоміжні вузли.

Після визначення цієї сумарної потужності можна розрахувати параметри основних елементів блоку живлення:

- трансформатор - повинен забезпечити необхідну напругу та струм при врахуванні ККД;

- випрямляч - будується на діодному мосту, розрахованому на струм навантаження з запасом;

- фільтр - містить електролітичні конденсатори, номінал яких розраховується для згладжування пульсацій;

- стабілізатор - підтримує напругу 5 В на виході для живлення логічної частини;

- запобіжники - встановлюються перед первинною обмоткою трансформатора і на виході для захисту від коротких замикань.

Для точного розрахунку варто врахувати напругу живлення кожного елемента та їхній робочий струм. Це дозволить підібрати правильні номінали трансформатора, діодів, стабілізатора та ємностей фільтра. Відповідно:

$$P_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n kP_i, \quad (3.18)$$

де $P_{\text{заг}}$ – загальна потужність пристрою, Вт;

P_i – потужність 1-го елемента, Вт;

k – кількість елементів однотипних, шт.

n – кількість різних типів елементів, шт.

Загальна потужність системи управління та контролю універсального колекторного електричного двигуна визначається із виразу:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{МК}} + P_{\text{КЕ}} + P_{\text{ДС}} + P_{\text{ВС}} + P_{\text{ВР}} + P_3 + P_{\text{СД}}, \quad (3.19)$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де $P_{МК}$ – споживана потужність мікроконтролера, Вт;

$P_{ДС}$ – потужність датчика струму, Вт;

$P_З$ – потужність задатчика, Вт;

$P_{ВС}$ – потужність вузла синхронізації, Вт;

$P_{КЕ}$ – потужність керуючого елемента, Вт;

$P_{ВР}$ – потужність вузла реверсу, Вт;

$P_{СД}$ – потужність світлодіодів, Вт.

Споживана потужність мікроконтролером АТmega8-16ри у Вт визначається за наступним виразом:

$$P_{МК} = U_{ж} \cdot I_{сн}, \quad (3.20)$$

$$P_{МК} = 5 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ Вт.}$$

де $I_{сн}$ – струм, що споживається А;

$U_{ж}$ – напруга живлення, В.

Потужність елемента керуючого складається із потужності оптрона U2 ($P_{U2} = 0,4$ Вт [14]), тиристора VS1 ($P_{VS} = 0,5$ Вт [15]), транзистора VT3 ($P_{VT3} = 0,1$ Вт [12]), резисторів обмежуючих, розрахованих вище, тобто:

$$P_{КЕ} = P_{U2} + P_{VS} + P_{VT3} + P_{R11} + P_{R18} + P_{R19}, \quad (3.21)$$

Підставивши значення було отримано:

$$P_{КЕ} = 0,4 + 0,5 + 0,1 + 0,125 + 0,025 + 2 = 3,15 \text{ Вт.}$$

Потужність датчика струму складається із потужності трансформатора

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

струму ТА1 ($P_{TA1} = U_{жс} \cdot I_2 = 5 \cdot 0,03 = 0,15$ Вт) та резисторів і знаходиться за наступною формулою:

$$P_{ДС} = P_{TA1} + P_{R1} + P_{R2} + P_{R4}, \quad (3.22)$$

$$P_{ДС} = 0,15 + 0,125 + 0,125 + 0,125 = 0,525 \text{ Вт.}$$

Загальна потужність вузла синхронізації визначається із потужності оптрона U2 ($P_{U1} = 0,25$ Вт [14]), резисторів (потужністю діода було знехтувано через мізерну величину):

$$P_{BC} = P_{U1} + P_{R3} + P_{R8}, \quad (3.23)$$

$$P_{BC} = 0,25 + 2 + 0,063 = 2,313 \text{ Вт.}$$

Загальна потужність споживання вузла реверсу визначається як сума потужностей, які споживаються елементами одного плеча схеми, оскільки обидва плеча не можуть працювати одночасно. До таких елементів належать:

- твердотільні реле U3 та U6, кожне з яких споживає потужність приблизно 0,1 Вт [14];
- транзистор VT1 (або VT2), споживання якого визначається згідно його робочого струму та напруги;
- обмежувальні резистори R9, R17 (або R10, R16), потужність яких обчислюється за формулою:

$$P = I^2 \cdot R,$$

де I – струм у ланцюзі;

R – номінал резистора.

									Арк.
									83
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

Таким чином, розрахунок потужності одного плеча дозволяє визначити необхідні параметри для вибору відповідних компонентів блоку живлення, враховуючи, що одночасне ввімкнення обох плечей є неприпустимим. Тобто:

$$P_{BP} = 2 \cdot P_{U3} + P_{V2} + P_{R10} + P_{R17}, \quad (3.24)$$

Відповідно:

$$P_{BP} = 2 \cdot 0,1 + 0,1 + 0,125 + 0,25 = 0,675 \text{ Вт.}$$

Потужність задатчика рівняється сумі потужностей обмежувальних резисторів портів мікроконтролера на кнопках та визначається за формулою:

$$P_3 = 4 \cdot (I_{HP})^2 \cdot R_{12}, \quad (3.25)$$

$$P_3 = 4 \cdot (0,02)^2 \cdot 270 = 0,432 \text{ Вт.}$$

Потужність, яку споживають світлодіоди індикації, визначається як сума потужностей, розсіюваних на самих світлодіодах та на обмежувальних резисторах, що під'єднані до портів мікроконтролера. Загальна потужність $P_{\text{заг}}$ для одного каналу розраховується за формулою:

$$P_{\text{сд}} = 3 \cdot ((I_{HP})^2 \cdot R_5 + I_{HP} \cdot U_{\text{ж}}), \quad (3.26)$$

$$P_3 = 3 \cdot ((0,02)^2 \cdot 360 + 0,02 \cdot 5) = 0,732 \text{ Вт.}$$

Сумарна споживана потужність блоку керування та контролю

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

знаходиться за формулою (3.19):

$$P = 0,3 + 3,15 + 0,525 + 2,313 + 0,675 + 0,432 + 0,732 = 8,127 \text{ Вт.}$$

При напрузі $U_0 = 9\text{В}$ струм навантаження визначається із виразу:

$$I_0 = \frac{P}{U_0}, \quad (3.27)$$

$$I_0 = \frac{8,127}{9} = 0,9 \text{ А.}$$

3.5.2 Розрахунок та підбір трансформатора

Опір трансформатора T_1 у Ом визначається за формулою:

$$R_{mp} = \frac{830 \cdot U_0}{I_0 \cdot \sqrt[4]{U_0 \cdot I_0}}, \quad (3.28)$$

де U_0 – напруга випрямлена, В;

I_0 – струм навантаження, мА.

Відповідно:

$$R_{mp} = \frac{830 \cdot 9}{0,9 \cdot \sqrt[4]{9 \cdot 0,9}} = 4940 \text{ Ом.}$$

На вторинній обмотці трансформатора напруга U_2 у В визначається за формулою:

$$U_2 = 0,75 \cdot 9 + \frac{I_0 \cdot (2 \cdot R_1 + R_{mp})}{530}, \quad (3.29)$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де $R_1 = 0,25$ Ом – опір діодної зборки.

Тоді:

$$U_2 = 0,75 \cdot 9 + \frac{0,9 \cdot (2 \cdot 0,25 + 4940)}{530} = 15,1 \text{ В.}$$

Струми вторинної I_1 і первинної I_2 обмоток трансформатора у А визначаються із наступного виразу:

$$I_2 = 1,41 \cdot I_0 + \frac{16,6 \cdot U_0}{2 \cdot R_1 + R_{mp}}, \quad (3.30)$$

$$I_2 = 1,41 \cdot 0,9 + \frac{16,6 \cdot 9}{2 \cdot 0,25 + 4940} = 1,3 \text{ А.}$$

$$I_1 = \frac{1,2 \cdot U_2 \cdot I_2}{U_1}, \quad (3.31)$$

$$I_1 = \frac{1,2 \cdot 15,1 \cdot 1,3}{220} = 0,1 \text{ А.}$$

Габаритна потужність трансформатора в двонапівперіодній схемі випрямлення визначається за формулою:

$$P_2 = \frac{1,7 \cdot U_2 \cdot I_2}{1000} \quad (3.32)$$

де I_2 – струм вторинної обмотки трансформатора, мА;

U_2 – напруга на вторинній обмотці трансформатора, В.

Підставивши значення було отримано:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						86
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$P_2 = \frac{1,7 \cdot 15,1 \cdot 1300}{1000} = 33,4 \text{ Вт.}$$

Обраний згідно з технічною літературою [12] трансформатор типу ТПП 268-127/220-50 повністю відповідає вимогам до системи керування та контролю. Його електричні параметри наведено в таблиці 3.1, а конструктивні характеристики – в таблиці 3.2. Це забезпечує необхідну надійність та стабільність роботи всієї схеми.

Таблиця 3.1 – Електричні параметри трансформатора типу ТПП 268 - 127/220-50

Параметр	Значення
Номінальна потужність, ВА	57
Первинна напруга, В	127/220
Струм первинної обмотки, А	0,615/0,36
Напруга вторинних обмоток, В	I - 10
	II - 5
	III – 2,55
Номінальний струм вторинних обмоток, А	1,62

3.5.3 Розрахунок схеми випрямлення

Було розраховано схему випрямлення на основі мостової схеми із напівпровідникових діодів VD1-VD4 (рис.2.4).

Вихідні дані до розрахунку:

- напруга випрямлена $U_0 = 9 \text{ В}$;

- струм випрямлений $I_0 = 0,9 \text{ A}$;
- напруга електромережі $U_1 = 220 \text{ В}$;
- частота електромережі $f = 50 \text{ Гц}$.

Таблиця 3.2 – Конструктивні параметри трансформатора типу ТПП 268 -127/220-50

Параметр	Значення
Типорозмір магнітопровода	ШЛМ25x25
Габаритні розміри, мм	68x88x82
Маса не більше, г	1400

Для вибору типу діодів було визначено зворотну напругу у В за наступним виразом:

$$U_{звр} = 1,5 U_0 , \quad (3.33)$$

$$U_{звр} = 1,5 \cdot 9 = 15\text{В.}$$

Середній струм у А встановлюється із виразу:

$$I_{cp} = 0,5 \cdot I_0, \quad (3.34)$$

Підставивши значення було отримано:

$$I_{cp} = 0,5 \cdot 0,9 = 0,45 \text{ А.}$$

Обираємо діодну зборку типу RS-202, яка має наступні параметри:

- $U_{звр} = 70 \text{ В}$,
- $I_{ср} = 2 \text{ А}$,
- $U_0 = 100 \text{ В}$.

3.5.4 Вибір ємнісного фільтра

Для згладжування пульсацій напруги на виході трансформатора використовують фільтруючий конденсатор. Його ємність визначається за формулою:

$$C = \frac{30 \cdot I_0}{U_0} \text{ мкФ}, \quad (3.35)$$

де I_0 – струм навантаження, мА;

U_0 – напруга випрямлена, В.

Тоді:

$$C = \frac{30 \cdot 900}{9} = 3000 \text{ мкФ}.$$

Оскільки фільтруючий конденсатор працює в умовах підвищених імпульсних навантажень, що спричиняють його нагрівання, для забезпечення надійної та тривалої експлуатації системи було обрано електролітичний конденсатор типу K50-16. Цей конденсатор призначений для роботи при температурі до $105 \text{ }^\circ\text{C}$ та має мінімальний еквівалентний послідовний опір, що знижує теплові втрати й покращує фільтрацію пульсацій. Обрана ємність становить 3000 мкФ, а робоча напруга - 16 В [12].

3.5.5 Вибір мікросхеми стабілізатора

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Вихідними даними для розрахунку є:

- максимальний пропускний струм $I_{\max} = 2 \text{ A}$;
- вхідна напруга $7,5 < U_{\text{вх}} < 15\text{В}$;
- вихідна напруга $U_{\text{вих}} = (5 \pm 0,1) \text{ В}$.

Схема стабілізатора показана на рис.3.1.

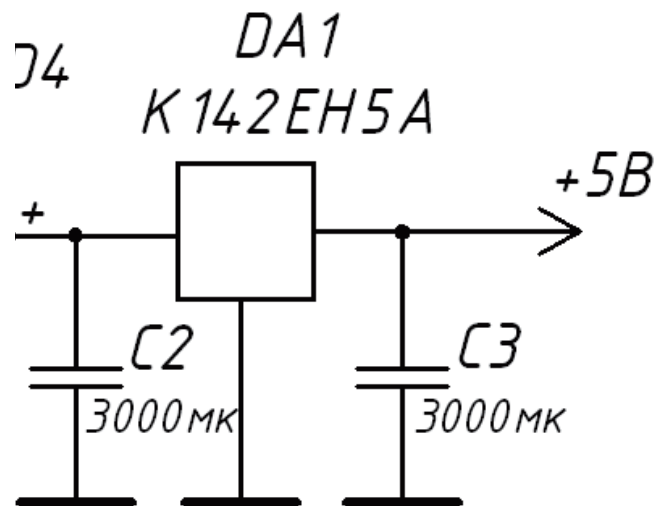


Рисунок 3.1 – Схема приєднання інтегрованого стабілізатора

Вибираємо інтегральний стабілізатор напруги K142EH5A [13.]. Його максимальна розсіювана потужність склала $P_{\max} = 10 \text{ Вт}$.

3.6 Вибір елементів захисту

Захист електричних кіл в системі передбачає надійне обмеження струмів перевантаження та короткого замикання як у силовій частині, так і в колі керування. Для захисту кола керування застосовуються плавкі запобіжники FU1 та FU2, які обираються з урахуванням номінального струму первинної обмотки трансформатора T1, що становить $I_1 = 0,1 \text{ А}$. Відповідно обирається запобіжник з номіналом 0,125 А.

									Арк.
									90
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

У силовому колі доцільно використовувати автоматичні вимикачі, що забезпечують як тепловий, так і електромагнітний захист. З огляду на номінальний струм навантаження електродвигуна - 1,5 А, а також струм споживання кола керування - 0,1 А, обрано автоматичний вимикач типу С2 виробництва фірми Аско на номінальний струм 2 А і захистом від короткого замикання на струм 12 А [15]. Цей вимикач також виконує функцію знеструмлення системи від електромережі.

3.7 Висновки до третього розділу

У цьому розділі наведено детальний розрахунок ключових компонентів електричної схеми пристрою, призначеного для регулювання та контролю параметрів універсального колекторного електродвигуна. Зокрема, розглядаються розрахунки керуючого елемента, що включає симістор та оптосимістор, елементів струмового датчика у вигляді трансформатора струму з відповідним узгоджуючим резистором, а також вузлів синхронізації та реверсу, які забезпечують стабільну та керовану роботу пристрою. Крім того, виконується розрахунок блоку живлення, включаючи трансформатор, випрямляч, фільтри та стабілізатор, з урахуванням потужності всієї системи. Окрему увагу приділено вибору елементів захисту, зокрема плавких запобіжників та автоматичного вимикача, які забезпечують безпечну експлуатацію пристрою.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було розглянуто актуальне завдання – розробку системи регулювання та контролю електричних двигунів, що застосовуються в електропобутовій техніці. У першому розділі проведено аналіз типів електричних двигунів, які використовуються в побутовій техніці, та методів регулювання крутного моменту й частоти обертання валу.

На основі проведеного аналізу як об'єкт проектування було обрано універсальний колекторний електродвигун, який вирізняється компактністю, простотою керування та широким застосуванням у побутовій техніці. У ході дослідження проаналізовано наявні технічні рішення, охарактеризовано сучасні мікроконтролерні та класичні схеми управління, виявлено їхні переваги й недоліки.

На основі отриманих даних запропоновано власну систему керування, побудовану на базі мікроконтролера, що здійснює регулювання за допомогою симістора. Контроль параметрів струму в колі обмоток двигуна дозволяє точно регулювати частоту обертання його валу, забезпечуючи ефективність і стабільність роботи пристрою.

Також у рамках роботи здійснено повний розрахунок параметрів усіх елементів, що входять до складу системи регулювання. На основі розрахованих значень розроблено електричну принципову схему з визначеними номіналами обраних радіоелементів. З використанням спеціалізованого програмного забезпечення було спроектовано друковану плату системи, а також розроблено повний технологічний процес її виготовлення та монтажу. Завершальним етапом розробки стало проектування конструкції корпусу пристрою.

Під час проектування системи регулювання та контролю універсального колекторного двигуна було підготовлено повний комплект технічної

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						92
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

документації, що включає електричну схему, специфікацію елементів, креслення друкованої плати, монтажну схему та габаритне креслення корпусу, необхідні для виготовлення пристрою.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						93
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Електричні машини. Навчальний посібник / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець, В.П. Довгань. – Дніпропетровськ: Видавництво Національного гірничого університету, 2003, - с.
2. Осташевський М.О. Електричні машини і трансформатори: навч. посібник / М.О. Осташевський, О.Ю Юр'єва. – Каравела, 2018. – 452с.
3. Електропривод: Підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І, Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк. – К.: Видавництво «Ліра-К»,2009. – 504с.
4. Ремонт побутової техніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rdt.com.ua/>.
5. Журнал «Радіо» №9, 1991 р., с.29-30.
6. Довідник радіоаматора-інженера [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://qrz.km.ua/files/dovidnyk_radioamatora.pdf
7. Посібник Indesit. Пральна машина [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://manuall.com.ua/indesit-e2sc-1160-w-ua-pralna-mashina/#google_vignette.
8. Регулятор обертів колекторного двигуна [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://detectori.com.ua/ua/catalog/mikroshema-tda1085c-regulyator-oborotov-kollektornogo-dvigatelya-3396/?srsltid=AfmBOoq34ySbjnGTiQyu4u_vNIvWQJAlI7Tfcwmkea9X3d7RhX19hM.
9. Радіоелементи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://bms.com.ua/uk/?srsltid=AfmBOoqxVmE_VQKplfhcC0ibRpj1tiYwQCSlPh_11XvmFIFWiK5pdZa.
11. Електричні машини та електропривод побутової техніки: Підручник/ М.Г. Попович, Л.Ф. Артеменко та ін. – К: Либідь, 2004. – 352 с.

										Арк.
										94
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата						

12. Atmel Products [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microchip.com/en-us/about/corporate-overview/acquisitions/atmel>.

13. Терещук М.Т. Напівпровідникові приймальні пристрої: Довідник радололюбителя. – К.: Наукова думка, 1981 – 670 с.

14. Колонтаєвський Ю.Б., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: Теорія і практикум. - К.: Каравела, 2003. – 401с.

15. Радіоеlementи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://bitkit.com.ua/biblioteka-bitkit/baza-znanij/komponenty?srsltid=AfmBOorm8JG52F-RCPYAhzbaWdbXq875FNacc4EudM_9dRHmsuoIq862.

16. Сайт компанії Аско [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.asko.ua.

17. Астахов Д.С. Проектуванню друкованих плат радіоелектронних засобів у системі P-CAD. – Дніпро: Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, 2007. -236с.

18. Конструктивно-технологічна побудова компонентів спеціалізованих комп'ютерних та робототехнічних систем : навч. посіб. / В.М. Лукашенко, К.В. Колесніков, К.С. Рудаков, М.В. Чичужко, М.П. Мусієнко. – М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ ; 2017. – 201 с.

19. Вимірювання крутного моменту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://atl.ua/ua/blog/polezno-znat/krutyashchiymoment-144?srsltid=AfmBOopMfM4-EPJ8eRsB6FrCbgY4El_jAQONKnnzNRvfCbYmh0gcvQCV.

20. Белікова Л.Я. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів /Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – О.: Наука і техніка, 2012.– 480 с.

21. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 449 с.

22. Електротехнічні пристрої систем автоматичного управління

										Арк.
										95
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата						

технологічними процесами: навч. посіб. посібник для студентів галузі знань 15 – «Автоматизація та приладобудування» спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»/В.П.Грудська, В.І.Чибеліс/КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 107 с.

23. Чумак, В. В. Електричні машини систем автоматики: курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою "Електричні машини і апарати" / В. В. Чумак, М. А. Коваленко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 241 с.

24. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449с.

25. Силові напівпровідникові прилади і перетворювачі електричної енергії: навч. посіб. / К.К. Побєдаш, В.А. Святненко - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 244 с.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						96
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						97
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		