

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

Одеський національний технологічний університет
Кафедра електромеханіки та мехатроніки



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на тему «**Дослідження та вдосконалення електроприводу верстату**

намотування дроту в котушки»

Здобувача **Карбовський Станіслав Віталійович**

Студент групи АЕМм-20

Керівник : Штепа Євген Павлович , к.т.н., доцент

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 19.12. 2023 р., протокол №5.

Завідувач(ка) кафедри Осадчук П.І. _____

Одеса - 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: *Автоматизації та робототехніки*

Кафедра: *Електромеханіки та мехатроніки*

Ступінь вищої освіти: *магістр*

Спеціальність: *141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*

Освітня програма: *Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням*

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри ЕтаМ

_____Осадчук П.І.

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

**здобувача СВО «Магістр» Карбовський
Станіслав Віталійович гр. АЕМм-20**

1. Тема роботи: **«Дослідження та вдосконалення електроприводу
верстату намотування дроту в котушки»**

Керівник роботи: Штепа Євген Павлович к.т.н.,
доцент.

Затверджено наказом ОНАХТ від 15-11-22 р. наказ №841-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 115.12.23

3. Вихідні дані роботи: діаметр дроту 1,8 мм; швидкість намотування 120 м/хв;
ширина каркасу котушки 350 мм; питома сила натягання дроту 100 Н/мм²;
габарити 1,6 x 1,3 x 1,0 м.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Розділ 1. Аналіз літературних джерел. Розділ 2. Розрахунок параметрів котушки

Розділ 3. Вибір двигуна. Розділ 4. Система управління електроприводом.

Розділ 5. Вибір перетворювача частоти. Розділ 6 Дослідження електроприводу в програмі matlab simulink. Розділ 7. Економічна частина

5. Перелік демонстраційного матеріалу (обов'язкові слайди презентації у Power

Point): 1. Титульний слайд. 2. Актуальність теми, об'єкт, мета і завдання роботи. 3. Намотувальний векстат 4. Кінематична схема намотувального пристрою. 4. Розрахунок механічної характеристики намотувального пристрою. 5. Параметри котушки. 6. Зміна моменту опору на валу привода. 7. Розрахунок і вибір двигуна. 8. Зміна моменту опору на валу привода механічні характеристики. 8. Вибір перетворювача частоти. 9. Схема управління електроприводом намотувального пристрою. 10. Схема моделювання прямого пуску електроприводу. 10. Результати моделювання частотного пуску електроприводу. 11. Висновки.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

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

Дата видачі завдання: 15.11.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання
1	Розділ 1. Аналіз літературних джерел	05.11.2023
2	Розділ 2. Розрахунок параметрів котушки	10.11.2023
3	Розділ 3. Вибір двигуна	15.11.2023
4	Розділ 4. Система управління електроприводом	25.11.2023
5	Розділ 5. Вибір перетворювача частоти	30.11.2023
6	Розділ 6. Дослідження електроприводу в програмі matlab simulink	5.12.2023
7	Розділ 7. Економічна частина	10.12.2023
8	Перевірка роботи на добротність КРМ	12.12.2023
9	Попередній перегляд готовності КРМ	17.12.23
10	Захист кваліфікаційної роботи магістра	20.12.2023

Здобувач _____ Карбовський С.В.

Керівник _____ Штепа Є.П.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		

Здобувач-дипломник _____ Карбовський С В.

РЕФЕРАТ

Карбовський С. В. «Дослідження та вдосконалення електроприводу верстату намотування дроту в котушки». Кваліфікаційна робота магістра. – Одеса: ОНТУ, 2023. – 71 с. Бібліогр.: 7. Іл.: 18. Табл.: 12.

В магістерській роботі описані верстати для намотування дроту на котушки. Приведена характеристика електропривода намотувального верстату; розраховані параметри котушки, діаграми навантаження, динамічні моменти, вибрана потужність і тип двигуна, механічні характеристики електроприводу. Крім того, описана система управління електроприводом, вибрано перетворювач частоти управління двигуном, приведена схема електропривода верстата з частотним перетворювачем.

Розроблена модель частотного електропривода верстата у середовищі MATLAB Simulink та приведені результати досліджень її роботи.

В економічній частині приведено економічний ефект від модернізації електропривода верстата складає 4,37 тис. грн./рік, строк окупності 2,4 роки.

Ключові слова: верстат для намотування дроту, асинхронний двигун, перетворювач частоти, модель частотного електроприводу.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ABSTRACT

Karbovsky S. V. "Research and improvement of the electric drive of the wire winding machine." Master's qualification work. – Odesa: ONTU, 2023. – 71 p. Bibliography: 7. Illustrations: 18. Tables: 12. In the master's thesis, machines for winding wire onto coils are described. The characteristics of the electric drive of the winding machine are given; calculated coil parameters, load diagrams, dynamic torques, selected motor power and type, mechanical characteristics of the electric drive. In addition, the electric drive control system is described, the frequency converter of the engine control is selected, and the diagram of the electric drive of the machine with a frequency converter is given. The model of the frequency electric drive of the machine tool was developed in the MATLAB Simulink environment and the results of research into its operation were given. In the economic part, the economic effect of modernizing the electric drive of the machine is 4.37 thousand hryvnias/year, the payback period is 2.4 years.

Key words: wire winding machine, asynchronous motor, frequency converter, frequency electric drive model.

					EM та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Розділ 1. Аналіз літературних джерел	
1.1 Верстати для намотування котушок електротехнічним дротом	8
Розділ 2. Розрахунок параметрів котушки	
2.1 Конструкція і технічні характеристики намотувального верстату.. ...	12
2.2 Загальна характеристика електропривода намотувального Верстату.....	15
2.3.Розрахунок параметрів котушки.....	19
Розділ 3. Вибір двигуна	
3.1.Розрахунок потужності двигуна	23
3.2. Розрахунок передаточного числа і ККД редуктора.....	23
3.3. Розрахунок діаграм навантаження.....	24
3.4. Розрахунок динамічних моментів навантаження та вибір двигуна..	26
3.5. Визначимо режим роботи двигуна.....	28
3.6.Механічні характеристики електроприводу	29
Розділ 4. Система управління електроприводом	
4.1.Розробка функціональної схеми електропривода верстата.....	31
Розділ 5.Вибір перетворювача частоти.	
5.1.Принцип роботи перетворювача.....	34
5.2. Вибір перетворювача частоти управління двигуном.....	43
5.3 Схеми електропривода верстата з частотним перетворювачем....	48
Розділ Дослідження електроприводу в програмі matlab simulink	
6.1. Постановка задачі	51
6.2. Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна	54
6.3 Моделювання прямого пуску двигуна	57

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВСТУП

Метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка електроприводу верстату для намотування дроту в котушки. При намотуванні необхідно підтримувати постійну швидкість намотки і силу натягу. У продовж всього часу роботи збільшується радіус намотки, тому для забезпечення необхідних умов праці необхідно зменшувати швидкість.

Актуальність теми

Заміна прямого пуску двигуна регульованим з частотним перетворювачем для запобігання розриву дроту.

Об'єкт дослідження

Електропривід верстату намотування дроту в котушки.

Мета роботи

Модернізація електроприводу верстату намотування дроту в котушки.

Розробити частотний електропривод управління електриводом верстата та його математичну модель у програмі MATLAB та дослідити

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Розділ 1. Аналіз літературних джерел.

1.1 Верстати для намотування котушок електротехнічним дротом

Верстати для намотки котушок електротехнічним дротом повинні забезпечити плавність руху обертання котушок та сталість лінійної швидкості руху і сили натягнення дроту у процесі їх намотки за рахунок автоматичного регулювання його електропривода.

Верстат СУН-4 найбільший настільний одношпindelний верстат з серії СУН, який виконує рядову намотку всіх видів відкритих котушок, в тому числі секційних, пірамідальних та інших електричних котушок проводом діаметром 0,1...4,0 мм з розширеними можливостями програмування, зберігання та тиражування програм намотки. Додатково може комплектуватися натяжними пристроями для проводів від 0,12 мм до 1,8 м, пристрої для змотування, педальним регулятором, шаблонами для намотки котушок електродвигунів та оправками під котушки замовника.



Рисунок 1.1 - Верстат СУН-4 для намотування всіх видів відкритих котушок.
Україна

СУН-1,8М - намотувальний одношпindelний верстат з діалоговим програмуванням параметрів намотки виконує рядову намотку всіх видів відкритих котушок проводом діаметром 0,02...1,8 мм. Система керування побудована на базі

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сучасного PC-сумісного контролера, дозволяє зберігати в пам'яті програми намотки до 999 котушок, вбудовано інтерфейс обміну інформації з персональним комп'ютером. Живлення 220 В змінного струму 50 Гц, влаштована система самодіагностики, зручні і функціональні дисплей і клавіатура.

СУН-1,8МЛР - настільний одношпиндельний верстат виконує рядову намотку всіх видів відкритих котушок, в тому числі секційних, пірамідальних та інших електричних котушок проводом діаметром 0,02...1,8 мм. За основними технічними характеристиками аналогічний верстату СУН-1,8М, але з полегшеною системою керування.

СУН-1,8МЛ - настільний одношпиндельний верстат призначений для намотки нескладних відкритих котушок і дозволяє виконувати рядову та впорядковану намотку котушок проводом діаметром 0,02...1,8 мм. Намотування верстат виконує за програмами, які вводяться з клавіатури верстата в діалоговому режимі.

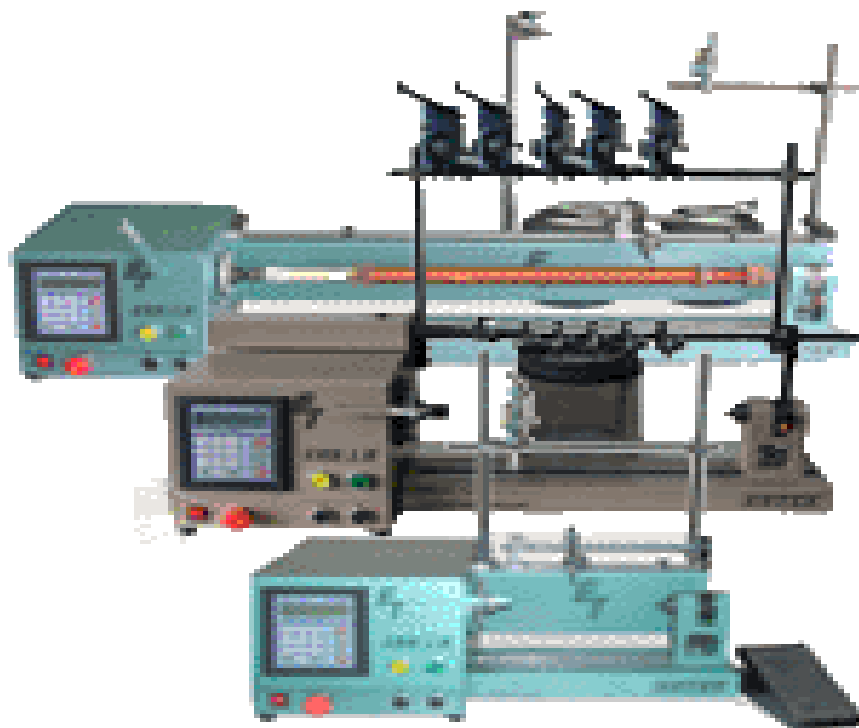


Рисунок 1.2 – Верстати серії СУН-1.8 для намотування всіх видів відкритих котушок. Україна

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СУН-0,6 - компактний настільний одношпindelний верстат призначений для намотки нескладних відкритих котушок і дозволяє виконувати рядову та впорядковану намотку котушок проводом діаметром 0,02...0,6 мм. Додатково верстат може комплектуватись натяжними пристроями для проводів, змотчиками, педальним регулятором, задньою бабкою, і при необхідності, оправками під каркас замовника. Живлення 220 В змінного струму 50 Гц, зручні і функціональні дисплей і клавіатура.

СУН-0,6Р - виконання верстату для намотки всіх видів відкритих котушок, в тому числі секційних, пірамідальних та інших електричних котушок з розширеними можливостями програмування, зберігання і тиражування програм намотки.



Рисунок 1.3 – Верстати серії СУН-0.6 для намотування всіх видів відкритих котушок. Україна

Додаткові опції - це одне чи декілька пристроїв, якими додатково можуть комплектуватися намотувальні верстати, а саме:

- бабка задня;
- натяжний пристрій (для п'яти діапазонів проводів);
- проводоукладачі (для двох діапазонів проводів);
- змотчик;
- педальний регулятор.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Змотувальний пристрій СУ - призначений для розмотки сталюого тросика з тарних барабанів в автоматичному режимі . Застосовується спільно з верстатом СУН-1,8М або з іншим подібним обладнанням.

Пристрій для намотування ізоляції - призначений для ручної намотки і вкладання невеликої кількості мишарові і зовнішньої ізоляції котушок. Габарити 300x200x206 (мм).

Деякі приклади намоток, що виконуються всіма моделями намотувальних верстатів, продемонстровані.

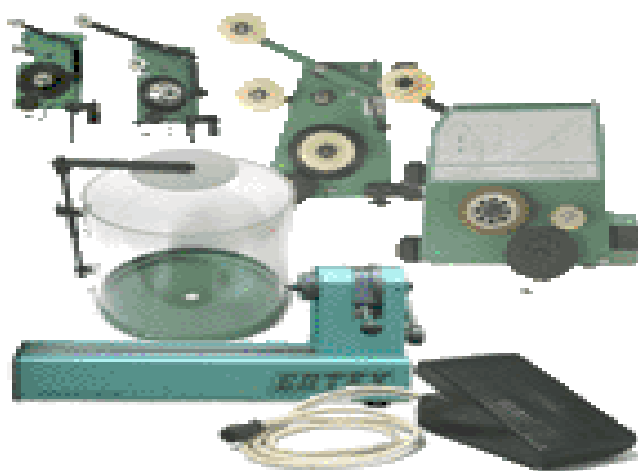


Рисунок 1.4 - Змотувальний пристрій СУ. Україна

УСН - пристрій змоточно-намотувальний. Призначений для розмотки і намотки стрічкового матеріалу в автоматичному режимі. Пристрій призначений для використання одночасно з пресами автоматичної штамповки.



Рисунок 1.5 - Змотувальний пристрій УСН.

	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6

Лист

Розділ 2. Розрахунок параметрів котушки

2.1 Конструкція і технічні характеристики намотувального верстату

Верстати для намотки котушок електротехнічним дротом повинні забезпечити плавність руху обертання котушок та сталість лінійної швидкості руху і сили натягнення дроту у процесі їх намотки за рахунок автоматичного регулювання його електропривода.

Загальний вигляд верстату для намотки котушок СУН-1.8 фірми ЕЛТЕХ Україна показано на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд верстату для намотки котушок СУН-1.8 фірми ЕЛТЕХ Україна

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

					ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Кінематична схема механізму намотки зображена на рисунку 2.2.

Дроті намотують на каркас котушки.

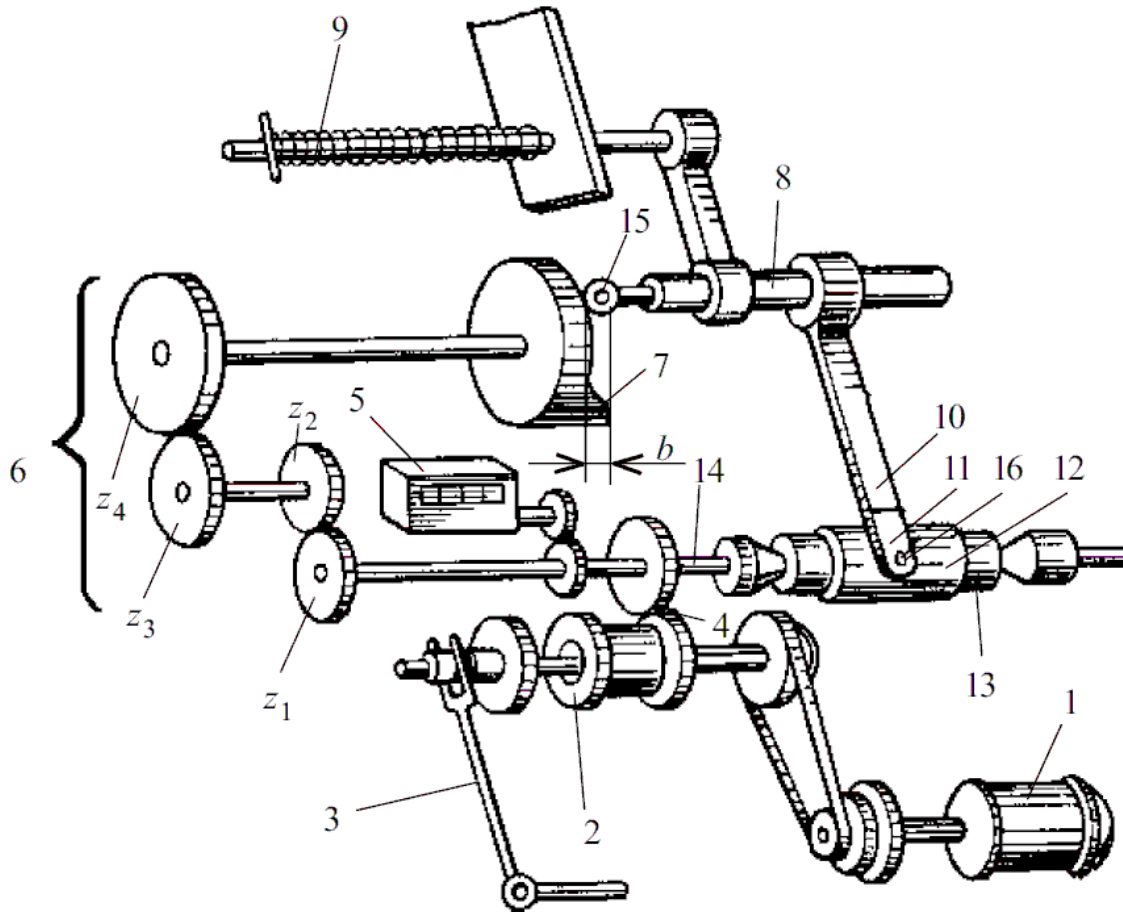


Рисунок 2.2 - Кінематична схема механізму намотки верстата:

1 – двигун; 2 – муфта; 3- важіль; 4 – зубчаста пара; 5 – лічильник; 6 – зубчасті колеса; 7 – кулачок; 8 – тяга; 9 – пружина; 10 – поводок; 11 – водій проводу; 12 – каркас; 13 – оправа; 14 – шпindelь; 15 – ролик; 16 – отвір.

У межах намотки одного шару дроту кутова швидкість двигуна Д1 залишається незмінною. Під час зростання кількості шарів має відбуватися зміна швидкості двигуна. Наприкінці намотки двигун відключається і механізм зупиняється. Основною вимогою у процесі намотки є підтримка постійної лінійної швидкості і натягування дроту.

	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.2 Загальна характеристика електропривода намотувального верстату

Електроприводом робочої машини електрифікованого агрегату називається електромеханічний пристрій, призначений для електрифікації і автоматизації робочих процесів і складається з перетворювального, електричного двигуна, передавального і управляючого механізмів.

Для електропривода робочих машин, як правило, вибирають прості та надійні трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором серії 4А, АІР, АІРС або інші.

Для привода робочих машин потужність двигуна яких не перевищує 250 кВт частіше всього використовують трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором на напругу 380 В 50 Гц, а при частих включеннях і реверсах машини - асинхронні двигуни з фазним ротором на напругу 380 В 50 Гц.

Асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором потужністю до 7,5 кВт частіше всього включають способом прямого пуску. Основний недолік цього способу є велика кратність пускового струму: $I_{п} / I_{н} = 5 \dots 8$.

Двигуни великої потужності рекомендується включати при з'єднанні з обмоткою статора зіркою і наступним переключенням на з'єднання їх трикутником. Це дозволяє зменшити пусковий струм двигуна в 1,7 рази, але при цьому знижується пусковий момент двигуна в 3,0 рази. Така схема пуску двигунів допустима для відцентрових машин, до котрих відноситься і верстат для намотування котушок.

Електропривод сепаратора складається із трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором міжнародної серії Інтернешенал АІР номінальною потужністю $P_{ном} = 1,5$ кВт та частотою обертання ротора $n_{ном} = 1460$ об/хв.

Заповнений каркас котушки має дуже великий момент інерції ($J_{б} \geq 10 J_{дв}$), а у приводі верстата має фрикційну муфту для забезпечення проковзування горизонтального вала та вала двигуна в період її розгону.

Живлення електропривода і системи управління здійснюється від чотирипровідної трифазної мережі змінного струму з робочим нейтральним проводом з РЕН 380/220 В 50 Гц.

										Лист
	3	2								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

В схемі управління використовується напруга безпечна для життя людини 36 В 50 Гц.

Згідно ПУЕ електродвигун і корпус машини з'єднані із заземлювачем проводом РЕ та з'єднані із заземленим робочим нейтральним проводом PEN.

Машина працює у тривалому режимі з постійним навантаженням, що відповідає режиму роботи *S1*.

Верстати для намотки котушок електротехнічним дротом повинні забезпечити плавність руху обертання котушок та сталість лінійної швидкості руху і сили натягнення дроту у процесі їх намотки за рахунок автоматичного регулювання його електропривода.

Технічні характеристики верстату для намотування котушок СУН-1.8 фірми ЕЛТЕХ Україна приведені в табл. 1.2 цієї роботи.

Особливості електропривода верстата є великий діапазон регулювання швидкості намотування дроту 100...500 м/хв., великий діапазон діаметрів дроту 0,02...1,8 мм та питомої сили його натягнення при намотуванні 60...120 Н/мм². Тобто, великий діапазон регулювання швидкості обертання ротора двигуна електропривода верстата, а також збільшення інерційності механізму намотування під час намотування котушки. Момент інерції заповненої котушки перевищує момент пустої у 10 разів, та складає $J_K \geq 10 J_{дв}$.

Вібрації верстата особливо небезпечні при вибігу котушки, так як двигун не працює, а процес вибігу більш тривалий і не керуючий. Для скорочення часу вибігу передбачено механічне гальмування механізму привода котушки, але краще використовувати електричне гальмування.

Всі відзначені недоліки (проковзування фрикційної муфти в період розгону, скорочення часу розгону та вибігу ротора) усуваються із застосуванням ПЧ, а також з'являється можливість регулювання частоти обертання ротора і продуктивності верстата.

Після модернізації електропривода верстата швидкість обертання робочого вала котушки регулюється за допомогою перетворювача частоти ПЧ у діапазоні 40...200

					ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

об/хв., це не вимагає двошвидкісного двигуна, а електропривод не створює пускових струмів. Підвищується зручність обслуговування і зростає рівень автоматизації виробництва.

Машину встановлюють у приміщеннях, котрі згідно ПУЕ відносяться до класу «Приміщення особливо небезпечні». Гігієнічні норми параметрів мікроклімату в робочій зоні машини повинні відповідати ГОСТ 12.1.005-88. Категорія приміщень згідно ПУЕ відповідає правилам конструкції електроустановок за СНіП 11-90-81 із температурою повітря від + 10 до + 40⁰С і вологістю більше 80%.

Рівень звукового тиску і шуму не повинен перевищувати норм, регламентованих ГОСТ 12.1.003 «Шум. Загальні вимоги безпеки». Граничне значення вібраційних характеристик не повинно перевищувати норм, встановлених ГОСТ 12.1.012 «Вібраційна безпека. Загальні вимоги».

Автоматизований електропривод модернізованого верстата забезпечує:

1. Діапазон регулювання частоти обертання вала котушки:

$$n_B = 500 \dots 200 \text{ об/хв.};$$

2. Точність стабілізації частоти обертання вала котушки:

$$\Delta n_B = 5,0\%;$$

3. Напруга живлення силової частини привода: 3 PEN 380/220 В 50 Гц;

4. Напруга живлення у колах управління машини: 24 В 50 Гц.

У колах управління машини необхідно використовувати безпечну від поразки електричним струмом напругу.

Пост управління розташовують у шафі управління, а шафу управління встановлюють на відстані 10...20 метрів від машини. Живлення привода здійснюється від трифазної мережі змінного струму 220/380 В 50 Гц проводами або кабелями з алюмінієвими чи мідними жилами. Мідні жили застосовують у пожежовибухонебезпечних приміщеннях або для машин із підвищеною вібрацією. Живлення машини і пульта управління необхідно прокласти в газових сталевих трубах, а труби з'єднувати гнучким мідним проводом з контуром заземлення.

										Лист
	3	2								
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Схема управління повинна забезпечити заданий алгоритм управління і блокування привода машини, індикацію наявності напруги живлення і режиму роботи машини, а також захист привода від струмів короткого замикання, тривалого перевантаження і від його мимовільного включення після короткочасного зникнення електроенергії.

Передбачити блокування включення машини при відсутності загороджень привода і її аварійну зупинку.

Для розрахунку намотувального механізму верстата у табл. 2.2 приведена його технічними характеристика.

Таблиця 2.2. Технічні характеристики намотувального механізму верстата

№ з.п.	Назва параметра	Позначення	Одиниці вимірювання	Величина
1	Діаметр дроту	D_D	мм	1,6
2	Питома сила натягування дроту	$F_{ДУ}$	Н/мм ²	90
3	Лінійна швидкість намотки	V_D	м/хв.	400
4	Синхронна швидкість вала приводного двигуна	n_0	об/хв.	1500
5	Ширина котушки, мм	α	мм	160
6	Внутрішній діаметр котушки	D_1	мм	450
7	Зовнішній діаметр котушки	D_2	мм	820

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.3. Розрахунок параметрів котушки

Визначимо кількість витків n в одному шарі котушки:

$$n = \frac{\alpha}{D_{\text{д}}}, \quad (2.1)$$

де α – ширина котушки, $\alpha = 160$ мм;

$D_{\text{д}}$ – діаметр дроту, $D_{\text{д}} = 1,6$ мм.

Тоді:

$$n = \frac{\alpha}{D_{\text{д}}} = \frac{160}{1,6} = 100 \text{ витків у шарі.}$$

Визначимо кількість шарів m у котушці:

$$m = \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot D_{\text{д}}}, \quad (2.2)$$

де D_1, D_2 – внутрішній і зовнішній діаметр котушки, $D_1 = 450$ мм, $D_2 = 820$ мм.

Тоді:

$$m = \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot D_{\text{д}}} = \frac{820 - 450}{2 \cdot 1,6} = 115 \text{ шарів.}$$

Довжина витка на початку намотки котушки:

$$l_{\text{Н}} = \pi \cdot D_1 \cdot 10^{-3}. \quad (2.3)$$

Тоді:

$$l_{\text{Н}} = \pi \cdot D_1 \cdot 10^{-3} = 3,14 \cdot 450 = 1,41 \text{ м.}$$

Довжина витка наприкінці намотки котушки:

$$l_{\text{К}} = \pi \cdot D_2 \cdot 10^{-3}. \quad (2.4)$$

Тоді:

$$l_{\text{К}} = \pi \cdot D_2 \cdot 10^{-3} = 3,14 \cdot 820 \cdot 10^{-3} = 2,57 \text{ м.}$$

Час намотки першого шару котушки:

$$t_{\text{Н}} = \frac{l_{\text{Н}} \cdot n \cdot 60}{V_{\text{д}}}. \quad (2.5)$$

Тоді:

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$t_H = \frac{l_H \cdot n \cdot 60}{V_D} = \frac{1,41 \cdot 100 \cdot 60}{400} = 21,2 \text{ с.}$$

Час намотки останнього шару котушки:

$$t_K = \frac{l_K \cdot n \cdot 60}{V_D}. \quad (2.6)$$

Тоді:

$$t_K = \frac{l_K \cdot n \cdot 60}{V_D} = \frac{2,57 \cdot 100 \cdot 60}{400} = 38,6 \text{ с.}$$

Час намотки i -го шару котушки:

$$t_i = \frac{\pi \cdot (D_1 + D_D \cdot m_i) \cdot n \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{V_D}, \quad (2.7)$$

де m_i – i -й шар котушки, $m_i = 1 \dots 100$.

Тоді:

$$t_i = \frac{\pi \cdot (D_1 + D_D \cdot m_i) \cdot n \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{V_D} = \frac{3,14(450 + 1,6 \cdot m_i) \cdot 100 \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{400} \text{ с.}$$

Час намотки котушки:

$$t_{\text{зар}} = \frac{(t_H + t_K) \cdot m}{2}. \quad (2.8)$$

Тоді

$$t_{\text{зар}} = \frac{(t_H + t_K) \cdot m}{2} = \frac{(21,2 + 38,6) \cdot 115}{2} = 3438 \text{ с} = 57,3 \text{ хв.}$$

Довжина дроту у котушці:

$$L_D = \frac{V_D \cdot t_{\text{зар}}}{60}. \quad (2.8)$$

Тоді:

$$L_D = \frac{V_D \cdot t_{\text{зар}}}{60} = \frac{400 \cdot 3438}{60} = 22920 \text{ м} = 22,92 \text{ км.}$$

Кутова швидкість котушки під час намотки i -го шару m_i котушки:

$$\omega_{Ki} = \frac{V_D}{(D_1 + D_D \cdot m_i) \cdot 60 \cdot 10^{-3}}. \quad (2.9)$$

де $m_i = 1 \dots 115$.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тоді:

$$\omega_{Ki} = \frac{V_D}{\left(\frac{D_1}{2} + D_D \cdot m_i\right) \cdot 60 \cdot 10^{-3}} = \frac{400}{\left(\frac{450}{2} + 1,6 \cdot m_i\right) \cdot 60 \cdot 10^{-3}}$$

Підставивши в (2.9) $m_1 = 1$, знайдемо початкову швидкість котушки ω_{KH} ,
підставивши $m_{115} = 115$, знайдемо кінцеву швидкість ω_{KK} :

$$\omega_{KH} = \frac{400}{(450 \cdot 2 + 1,6 \cdot m_i) \cdot 60 \cdot 10^{-3}} = \frac{400}{(450 \cdot 2 + 1,6 \cdot 1) \cdot 60 \cdot 10^{-3}} = 29,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\omega_{KK} = \frac{400}{(450 \cdot 2 + 1,6 \cdot m_i) \cdot 60 \cdot 10^{-3}} = \frac{400}{(450 \cdot 2 + 1,6 \cdot 115) \cdot 60 \cdot 10^{-3}} = 16,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Діапазон регулювання швидкості котушки:

$$D_D = \frac{\omega_{KH}}{\omega_{KK}}. \quad (2.10)$$

Тоді:

$$D_D = \frac{\omega_{KH}}{\omega_{KK}} = \frac{29,6}{16,2} = 1,83.$$

Сила натягання дроту:

$$F_D = S_D \cdot F_{ДУ}, \quad (2.11)$$

де S_D – площа перерізу дроту:

$$S_D = \frac{\pi D_D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} = 2,01 \text{ мм}^2;$$

$F_{ДУ}$ – питома сила натягання дроту, $F_{ДУ} = 90 \text{ Н/мм}^2$.

Тоді:

$$F_D = S_D \cdot F_{ДУ} = 2,01 \cdot 90 = 180 \text{ Н.}$$

Початковий і кінцевий моменти на приводному валу котушки:

$$M_{KH} = \frac{F_D \cdot D_1}{2} \cdot 10^{-3}, \quad (2.12)$$

$$M_{KK} = \frac{F_D \cdot D_2}{2} \cdot 10^{-3}, \quad (2.13)$$

Тоді:

$$M_{KH} = \frac{F_D \cdot D_1}{2} \cdot 10^{-3} = \frac{180 \cdot 450}{2} \cdot 10^{-3} = 40,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_{KK} = \frac{F_D \cdot D_2}{2} \cdot 10^{-3} = \frac{180 \cdot 820}{2} \cdot 10^{-3} = 73,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент на приводному валу котушки під час намотки і-го шару котушки:

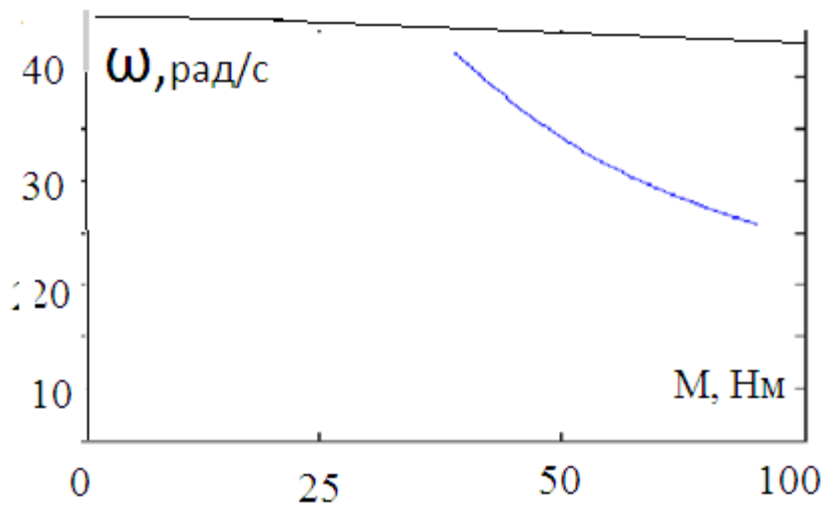
$$M_{Ki} = F_D \cdot \frac{D_1}{2} + D_D \cdot m_i \cdot 10^{-3}. \quad (2.14)$$

Тоді:

$$M_{Ki} = F_D \cdot \frac{D_1}{2} + D_D \cdot m_1 \cdot 10^{-3} = 180 \cdot \frac{450}{2} + 1,6 \cdot m_1 \cdot 10^{-3} \text{ Нм}.$$

За формулами (2.9) та (2.14) побудуємо механічну характеристику верстата для намотування

дроту на
(Рисунок



котушки $\omega_K M_K$.
(2.3)

Рисунок 2.3 – Механічна характеристика ω M механізму верстата.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Розділ 3. Вибір двигуна

3.1. Розрахунок потужності двигуна

Механічна потужність на валу привода котушки P_K залишається незмінною, і складає:

$$P_K = \frac{F_D \cdot V_D}{60} = M_{Ki} \cdot \omega_{Ki} = M_{KH} \cdot \omega_{KH} = M_{KK} \cdot \omega_{KK}, \quad \text{Вт.} \quad (2.15)$$

та дорівнює:

$$P_K = \frac{F_D \cdot V_D}{60} = \frac{180 \cdot 400}{60} = 1200 \text{ Вт} = 1,2 \text{ кВт.}$$

3.2. Розрахунок передаточного числа і ККД редуктора

Синхронна швидкість двигуна ω_0 яка відповідає швидкості початку намотування котушки буде:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.16)$$

Згальне передаточне число механізму складає:

$$i_3 = \frac{\omega_0}{\omega_{KH}} = \frac{157}{29,6} = 5,3. \quad (2.17)$$

Приймаємо редуктор з передатним числом $i_p = 5$, тоді ККД редуктора дорівнює:

$$\eta_p = \eta_1^x = 0,92^3 = 0,78,$$

де x – кількість ступенів редуктора, $x = 3$;

η_1 – ККД однієї ступені редуктора, $\eta_1 = 0,92$.

Тоді розрахуємо передаточне число клинопасової передачі:

$$i_K = \frac{D_2}{D_1} = \frac{i_3}{i_p \cdot i_M} = \frac{5,3}{5 \cdot 1,0} = 1,06. \quad (2.18)$$

Обираємо діаметр ведучого шківa $D_1 = 0,125$ м, тоді діаметр веденого шківa D_2 дорівнює:

$$D_2 = D_1 \cdot i_K = 0,125 \cdot 1,06 = 0,130 \text{ м.}$$

Кутова швидкість обертання вхідного вала редуктора:

$$\omega_1 = \frac{\omega_{ДВ}}{i_K} = \frac{157}{1,06} = 148 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Кутова швидкість обертання вихідного вала редуктора:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{i_p} = \frac{148}{5} = 29,6 \text{ рад/с}.$$

Загальний ККД привода ліфта складає:

$$\eta_3 = \eta_K \cdot \eta_P \cdot \eta_M \cdot \eta_{II}^m, \quad (2.19)$$

де η_K – ККД клинопасової передачі, $\eta_K = 0,96$;

η_P – ККД редуктора, $\eta_M = 0,92$;

η_{II} – ККД пари підшипників кочення, $\eta_{II} = 0,99$;

m – число пар підшипників, $m = 4$ од.

Тоді:

$$\eta_3 = \eta_K \cdot \eta_P \cdot \eta_{II}^m = 0,96 \cdot 0,78 \cdot 0,99^4 = 0,72.$$

Приведений статичний момент на валу двигуна M_{Ci} під час намотки i -го шару складає:

$$M_{Ci} = \frac{M_{Ki}}{i_3 \cdot \eta_3}, \quad (2.20)$$

Приведені статичні моменти навантаження на валу двигуна на початку $M_{СП пр}$ та в кінці намотування котушки складають:

$$M_{СП пр} = \frac{M_{СП}}{i_3 \cdot \eta_3} = \frac{40,5}{5,3 \cdot 0,72} = 10,61 \text{ М} \cdot \text{н}, \quad (2.20)$$

$$M_{СК пр} = \frac{M_{СК}}{i_3 \cdot \eta_3} = \frac{73,8}{5,3 \cdot 0,72} = 19,34 \text{ М} \cdot \text{н}. \quad (2.21)$$

За формулами (2.9) та (2.14) побудували механічну характеристику верстата для намотки дроту ω_i M_i .

3.3. Розрахунок діаграм навантаження.

Час намотки дроту від початку до i -го шару (2.7):

$$t_i = \frac{\pi(D_1 + D_d m_i) \cdot n \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{V_d} = \frac{3,14(450 + 1,6 \cdot m_i) \cdot 100 \cdot 60 \cdot 10^{-3}}{400} \text{ с.}$$

де n – кількість витків у одному шарі. $n = 100$; m_i – номер шару, $m_i = 1 \dots 115$.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Розрахуємо кількість кроків k

діаграми:
$$k = \frac{m}{\Delta m}, \quad (2.17)$$

де Δm – крок розрахунку діаграми у шарах дроту, $\Delta m = 20$;

m – кількість шарів, $m = 115$.

Тоді: $k = \frac{m}{\Delta m} = \frac{115}{20} = 6$ кроків.

Статичний момент на валу двигуна під час намотки i -го шару розрахуємо за формулами (2.14) та (2.17):

$$M_i = \frac{M_{Ki}}{i_p \cdot \eta_p} = \frac{180 \cdot 450 \cdot 2 + 1,6 \cdot m_i \cdot 10^{-3}}{10,6 \cdot 0,92} \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.18)$$

Швидкість обертання вала двигуна під час намотки i -го шару розрахуємо за формулами (2.9) та (2.16):

$$\omega_i = \omega_{Ki} \cdot i_p = \frac{V_D \cdot i_p}{(D_1 \cdot 2 + D_D \cdot m_i) \cdot 60 \cdot 10^{-3}} =$$

$$= \frac{400 \cdot 10,6}{(450 \cdot 2 + 1,6m_i) \cdot 60 \cdot 10^{-3}} \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.19)$$

Потужність на валу двигуна під час намотки i -го шару розрахуємо за формулою $P_i = M_i \cdot \omega_i$ Вт: (2.20)

Результати розрахунків напишемо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Результати розрахунків тахограми роботи електропривода верстату і механічної характеристики механізму намотування котушок

k , крок	1	2	3	4	5	6
m_i , шар	20	40	60	80	100	120
t_i , с	457	986	1590	2250	2970	3750
Δt_k , с	457	529	604	660	720	780
M_i , Нм	50,3	56,3	62,3	68,3	74,3	80,4
ω_i , рад/с	26,4	24,2	22,9	20,7	18,4	16,2
P_i , Вт	1322	1362	1326	1320	1364	1304

β_i	0,93	0,89	0,83	0,81	0,79	0,75
-----------	------	------	------	------	------	------

Зміна моменту опору на валу привода котушки $M_K = f(t)F_D$ і зміна швидкості його обертання $\omega_K = f(t)$ під час намотування котушки приведено на рис. 3.1.

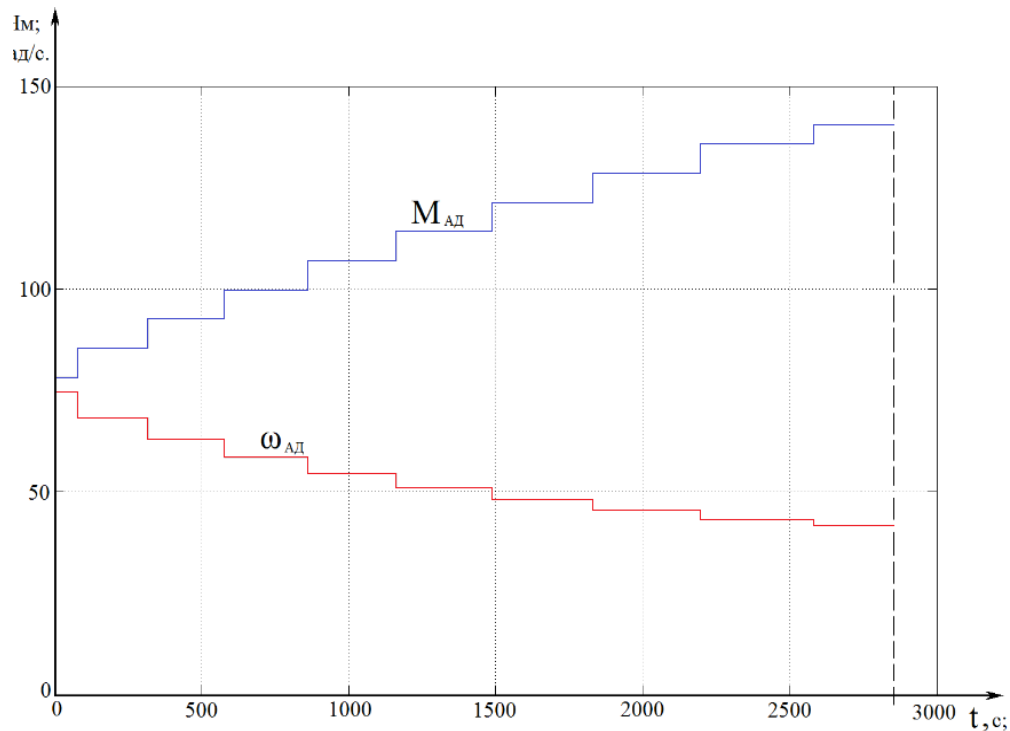


Рисунок 3.1 – Зміна моменту опору на валу привода котушки $M_K = f(t)F_D$

3.4. Розрахунок динамічних моментів навантаження та вибір двигуна

Розрахунок моменту інерції котушки:

$$J = 0,125 \cdot m \cdot D^2 - d^2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.22)$$

де m – маса котушки, кг;

d, D – початковий та кінцевий діаметри котушки, м.

Момент інерції порожньої котушки:

$$J_{\Pi} = 0,125 \cdot m_{\Pi} \cdot D^2 - d^2 = 0,125 \cdot 8 \cdot 0,82^2 - 0,45^2 = 0,47 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції заповненої котушки:

$$J_3 = 0,125 \cdot m_3 \cdot D^2 - d^2 = 0,125 \cdot 65 \cdot 0,82^2 - 0,45^2 = 4,23 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Приведений момент інерції котушки розраховується за формулою:

$$J_{\text{Ппр}} = J_{\text{ДВ}} + \frac{J_K}{i_3^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.23)$$

Приведений момент інерції порожньої котушки складає:

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$J_{\text{Ппр}} = J_{\text{ДВ}} + \frac{J_{\text{П}}}{i_3^2} = 0,013 + \frac{0,47}{5,3^2} = 0,03 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведений момент інерції заповненої котушки складає:

$$J_{\text{Зпр}} = J_{\text{ДВ}} + \frac{J_3}{i_3^2} = 0,013 + \frac{4,23}{5,3^2} = 0,15 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 .$$

Коефіцієнт інерції механізму розраховується за формулою:

Тоді коефіцієнти інерції механізму для порожньої і заповненої котушки:

$$FJ_{\text{П}} = \frac{J_{\text{Ппр}}}{J_{\text{ДВ}}} = \frac{0,03}{0,013} = 2,3 ,$$

$$FJ_3 = \frac{J_{\text{Зпр}}}{J_{\text{ДВ}}} = \frac{0,15}{0,013} = 11,6 .$$

Як що коефіцієнт інерції $FJ \leq 3,0$ – то інерційність механізму мала, як що коефіцієнт інерції $FJ > 10$ – то інерційність механізму велика .

Динамічний момент навантаження при намотуванні котушок як що змінюються як швидкість обертання котушки так і момент її інерції дорівнює:

$$M_{\text{Д}} = J \frac{d\omega}{dt} + \omega \frac{dJ}{dt} . \quad (2.24)$$

Швидкість обертання ротора двигуна при намотуванні котушки:

порожня котушка $\omega_{\text{Н}} = 157$ рад/с, заповнена котушка $\omega_{\text{К}} = 86$ рад/с,

час намотки котушки $t = 3438$ с.

Динамічний момент при зміні частоти обертання і приведенного моменту інерції котушки за час її намотування дорівнює:

$$M_{\text{ДН}} = J_{\text{Н}} \frac{d\omega}{dt} + \omega_{\text{Н}} \frac{dJ}{dt} = 0,03 \cdot \frac{86 - 157}{3438} + 157 \cdot \frac{0,15 - 0,03}{3438} = 0,004 \text{ Н} \cdot \text{м} ,$$

$$M_{\text{ДК}} = J_{\text{К}} \frac{d\omega}{dt} + \omega_{\text{К}} \frac{dJ}{dt} = 0,15 \cdot \frac{86 - 157}{3438} + 86 \cdot \frac{0,15 - 0,03}{3438} = 0,001 \text{ Н} \cdot \text{м} .$$

Приведені динамічні моменти навантаження двигуна на початку і у кінці намотки котушки складають $M_{\text{Д}} = (0,004 \dots 0,001 \text{ Н} \cdot \text{м})$ та значно менше ніж статичні ($M_{\text{Спр}} = 10,61 \dots 19,34 \text{ Н} \cdot \text{м}$), тому їх не враховуємо.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Потужність на валу двигуна привода верстату складає:

$$P_{\text{ДВ}} = K_3 \frac{P_K}{\eta_P} = 1,1 \frac{1,2}{0,82} = 1,46 \text{ кВт}, \quad (2.25)$$

де K_3 – коефіцієнт потужності двигуна, $K_3 = 1,1, \dots, 1,3$, який враховує динамічні навантаження, які не враховані в діаграмі статичної потужності;

P_K – стала потужність на валу приводу котушки, $P_K = 1,2$ кВт;

η_P – загальний ККД механізму привода котушки, $\eta_P = 0,82$.

За розрахованою потужністю двигуна $P_{\text{ДВ}} = 1,46$ кВт і значенню частоти обертання ротора двигуна $n_0 = 1500$ об/хв., вибираємо трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, серії 4А, виконання – 1Р-44 для режиму S1 з трифазною напругою 380 В 50 Гц (Табл.3.2).

Таблиця 3.2 Технічна характеристика двигуна 4А80В4У3

$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{НОМ}}$, об/хв.	$\eta_{\text{НОМ}}$, %	$\cos\varphi_{\text{НОМ}}$	$K_{\text{П}}$	$K_{\text{М}}$	$K_{\text{Г}}$	$J_{\text{ДВ}}$, кг·м ²	Рівень шуму, дБ	Маса, кг
1,5	1420	77,0	0,83	1,8	2,1	6,5	0,013	72	9,8

Даний двигун має степінь захисту від навколишнього середовища IP44.

зміна швидкості його обертання $\omega_K = f(t)$ під час намотування котушки

3.5. Визначимо режим роботи двигуна.

Знайдемо тривалість включення чи відносний час роботи двигуна в циклі роботи механізму:

$$T_B = \frac{t_p}{T_{\text{Ц}}} \cdot 100\% = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\%. \quad (2.21)$$

де $T_{\text{Ц}}$ – час циклу намотки котушки, $T_{\text{Ц}} = 4050$ с;

t_p – час роботи механізму, час намотки котушки, $t_p = 3750$ с;

t_0 – час зупинки механізму, час установки та зняття котушки, $t_0 = 300$ с.

Тоді:

$$T_{Bp} = \frac{t_p}{T_{\text{Ц}}} \cdot 100\% = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\% = \frac{3750}{4050} \cdot 100\% = 92,6\%.$$

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$T_{Br} = 92,6\% > T_{Bn} = 60\%$, тоді режим роботи двигуна S1 – тривалий, з постійним навантаженням.

3.6. Механічні характеристики електроприводу

Розрахувати природну механічну характеристику обраного двигуна за формулою Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot (1 + \alpha_R \cdot S_{кр})}{\frac{S_k}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S} + 2 \cdot \alpha_R \cdot S_{кр}}, \quad (2.30)$$

де S – ковзання;

$S_{кр}$ – критичне ковзання;

$M_{кр}$ – критичний момент;

$\alpha_R = \frac{R_1}{R_2}$: тут R_1 – активний опір фази статора і ротора R_2 .

Кутову швидкість двигуна розрахувати для кожного значення ковзання за формулою:

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - S). \quad (2.31)$$

Задаючись значенням критичного моменту на механічній характеристиці, яка відповідає найбільшій швидкості котушки, знайти відповідну цій характеристиці величину напруги статора:

$$U_{1пoc} = \frac{M_{крпpп} \cdot 2 \cdot \omega_0 \cdot (R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2})}{3}.$$

Під час регулювання кутової швидкості котушки за рахунок зміни частоти напруги статора двигуна доцільно використати закон зміни напруги одночасно з частотою:

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\frac{U_{1i}}{U_{1\text{поч}}} = \frac{f_i}{f_{\text{поч}}},$$

де $f_{\text{поч}}, f_i$ - початкова і поточна частоти напруги статора;

$U_{1\text{поч}}, U_{1i}$ - початкова і поточна фазна напруга статора.

Цей закон зміни напруги забезпечить підтримку перевантажувальної здатності двигуна під час регулювання швидкості з постійною потужністю навантаження.

Необхідно розрахувати і побудувати дві штучні механічні характеристики двигуна: перша забезпечує швидкість двигуна $\omega_{\text{поч}} = i_p \cdot \omega_{k.\text{поч.}}$, друга забезпечує $\omega_{\text{кін}} = i_p \cdot \omega_{k.\text{кін.}}$. Обидві характеристики розраховують за формулою:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1i}^2 \cdot R_2 \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot f_i \cdot S \left(R_1 + \frac{R_2}{S} \right)^2 + (X_k \cdot \frac{f_i}{f_H})^2}.$$

Для першої характеристики у це рівняння необхідно підставляти напругу

$U_{1i} = U_{1\text{поч}}$ і частоту:

$$f_i = f_{\text{поч}} = \omega_{\text{поч}} + M_{\text{поч}} \cdot \frac{\Delta\omega_H \cdot U_{1H}^2}{M_H \cdot U_{1\text{поч}}^2} \cdot \frac{p}{2 \cdot \pi},$$

де $\Delta\omega_H$ - падіння швидкості на природній механічній характеристиці при номінальному моменті M_H U_{1H} - номінальна фазна напруга двигуна.

Для розрахунку другої характеристики у (3.5) необхідно підставляти

$U_{1i} = U_{1\text{кін}}, f_1 = f_{1\text{кін}}$:

$$U_{1\text{кін}} \approx U_{1\text{поч}} \cdot \frac{\omega_{\text{кін}}}{\omega_{\text{поч}}},$$

$$f_{\text{кін}} = \omega_{\text{кін}} + M_{\text{кін}} \cdot \frac{\Delta\omega_H \cdot U_{1H}^2}{M_H \cdot U_{1\text{кін}}^2} \cdot \frac{p}{2 \cdot \pi}.$$

Після розрахунків побудували у тих самих координатах механічні характеристики двигуна: природну і дві штучні та механічну характеристику механізму (Рис.3.1).

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

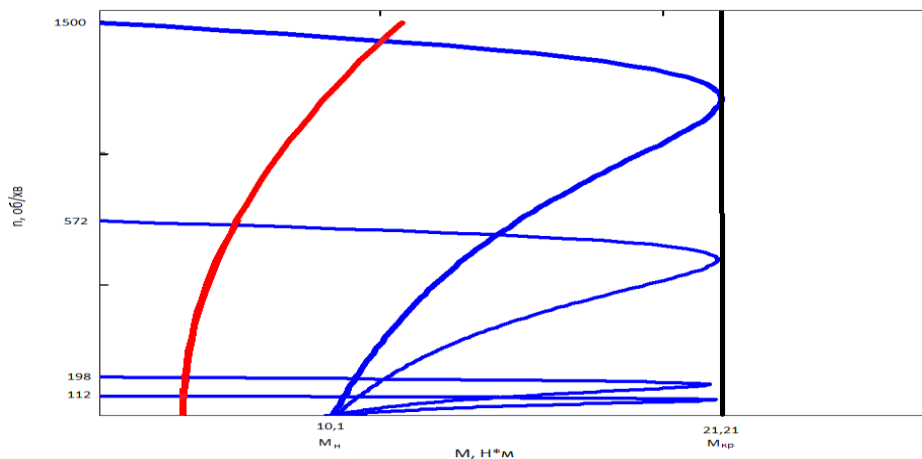
Рисунок 3.1 -Механічні характеристики

Розділ 4. Система управління електроприводом

4.1.Розробка функціональної схеми електропривода верстата

Для управління швидкістю асинхронного двигуна доцільно використати перетворювач частоти ПЧ з проміжною ланкою постійного струму. Функціональна схема системи ПЧ-АД наведена на рисунку 4.1.

Керований випрямляч КВ перетворює змінну напругу мережі $U_{1н}$ з номінальною частотою $f_{iн}$ у постійну напругу U_d з регульованою амплітудою. Автономний інвертор АІ перетворює постійну напругу U_d у змінну U_1 з регульованою амплітудою і частотою f_1 . Блок управління випрямлячем БУВ формує сигнали управління КВ, забезпечують амплітуди U_d за необхідним законом. Блок управління інвертором БУІ формує сигнали управління АІ, які



Що зміню

Блок управління випрямлячем БУВ формує сигнали управління КВ, забезпечують амплітуди U_d за необхідним

законем. Блок управління інвертором БУІ формує сигнали управління АІ, які

	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6

Лист

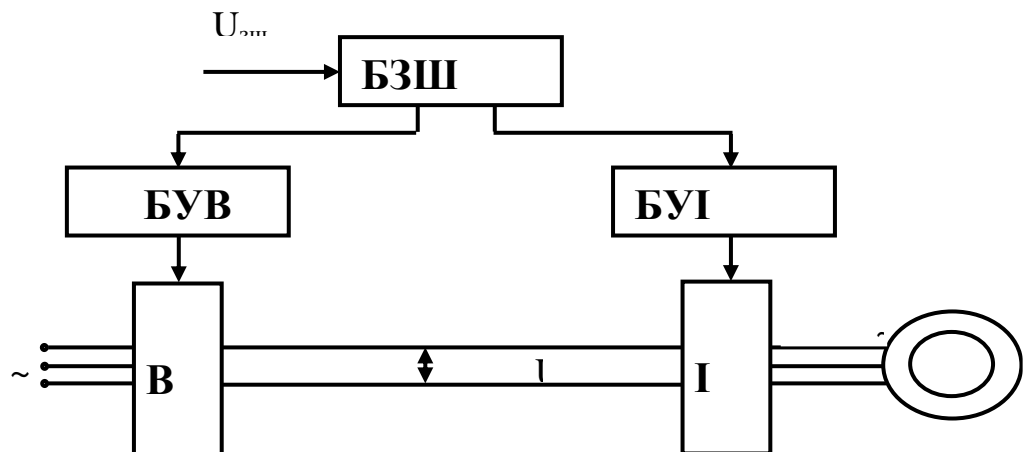
визначають частоту f_1 вихідної напруги. Управління блоками БУВ і БУІ відбувається за допомогою блока завдання швидкості БЗШ, на який подана напруга завдання швидкості.

Рисунок 4.1 – Функціональна схема електропривода.

Для управління швидкістю двигуна застосовано перетворювач частоти, у якому випрямляч є некерованим, а автономний інвертор здійснює широтно-імпульсну модуляцію напруги таким чином, що одночасно регулюється амплітуда і частота першої гармоніки вихідної напруги інвертора.

Д

алі
необхі
дно
розроб
ити
систем
у



управління двигуном, яка забезпечить намотку дроту з постійною лінійною швидкістю незалежно від поточного діаметру котушки. Це забезпечить постійну швидкість пересування мішені і сприятиме добрій якості намотки дроту на котушку.

Структурна схема системи управління електроприводом механізму намотки зображена на рисунку 4.2.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

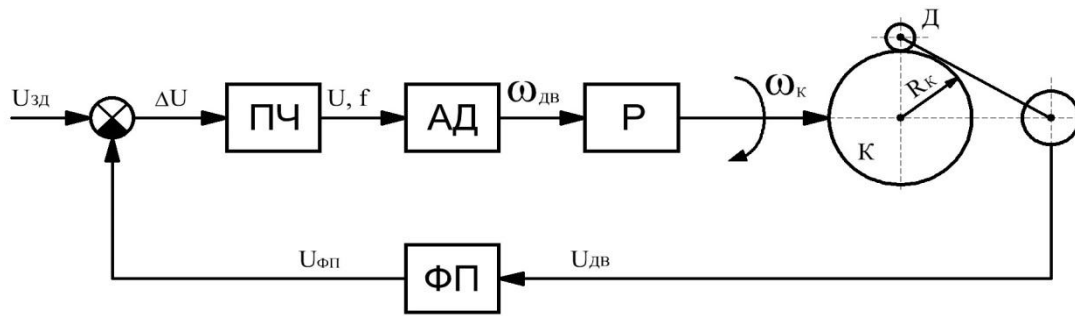


Рисунок 4.2 – Структурна схема управління електроприводом механізму намотки котушок: ПЧ – перетворювач частоти, АД- асинхронний двигун, Р- редуктор, ФП – функціональний перетворювач

На вхід системи надходить напруга завдання швидкості:

$$U_3 = 10 \cdot \frac{f_{\text{Поч}}}{f_{\text{КН}}},$$

яка визначає максимальну швидкість котушки К при внутрішньому діаметрі D_B під час намотки дроту діаметр котушки зростає, що обумовлює зростання сигналу U_D датчика діаметру ДД. Сигнал U_D надходить на функціональний перетворювач ФП, який формує напругу від'ємного зворотного зв'язку $U_{\text{ФП}}$, змінює сигнал завдання швидкості на вході системи ПЧ-АД:

$$U_{3\text{Ш}} = U_3 - U_{\text{ФП}}.$$

Обумовлює зменшення швидкості котушки ω_k під час збільшення її діаметру, це забезпечує стабілізацію лінійної швидкості намотки і стабілізацію натягання дроту.

Закон зміни швидкості напруги $U_{3\text{Ш}}$ в функції діаметру котушки може бути приблизно виражений залежністю:

$$U_{3\text{Ш}} \frac{2 \cdot V_D}{D_k \cdot 60 \cdot 10^{-3}} + \Delta\omega_k \cdot \frac{V_3}{\omega_{k,\text{Поч}} + \Delta\omega_k},$$

де

$$\Delta\omega_k = \frac{M_{\text{Поч}}}{i_p} \cdot \frac{\Delta\omega_H \cdot U_{1H}^2}{M_H \cdot U_{1\text{Поч}}^2}.$$

Задаючись значенням D_k від D_B до D_3 , розрахувати і побудувати залежність $U_{3\text{Ш}}$ (U_0), розраховуючи U_D за формулою:

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$U_D = \frac{10}{D_3 - D_B} \cdot D_k B,$$

Побудувати також залежність $U_{\text{ФП}} (U_0)$, розраховуючи напругу функціонального перетворювача за формулою (рис. 4.3 крива 1)

$$U_{\text{ФП}} = U_3 - U_{\text{ЗШ}}.$$

4.3. крива 2), розробити принципову схему функціонального перетворювача, який реалізує таку апроксимовану залежність $U_D = \frac{10}{D_3 - D_B} \cdot D_k$:

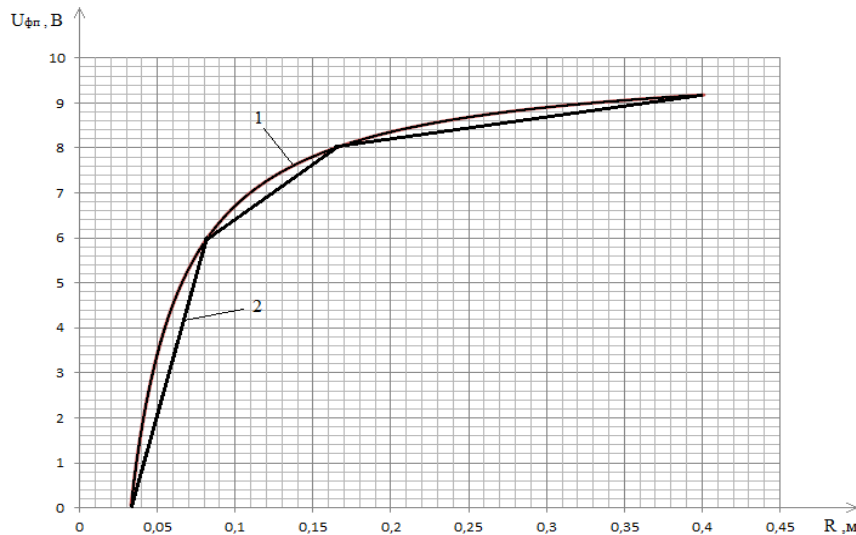


Рисунок 4.3 – Апроксимація статичної характеристики функціонального перетворювача електропривода .

Для прийнятої апроксимації ФП розрахувати і побудувати залежність лінійної швидкості дроту під час намотки на котушку при зміні її діаметру:

$$V_D = U_3 - U_{\text{ФП}} \cdot \frac{\omega_{k,\text{поч}} + \Delta\omega_k}{U_3} - \Delta\omega_k \cdot 30 \cdot D_n \cdot 10^{-1} \text{ м/хв.}$$

У цю залежність підставляти напругу $U_{\text{ФП}}$, виражену для кожної ділянки апроксимацію відповідним рівнянням прямої лінії:

$$U_{\text{ФП}} = C_{\text{ФП}} + \frac{10}{D_3 - D_B} \cdot D_k \cdot K_{\text{ФП}},$$

де величина зміщення по осі ординат $C_{\text{ФП}}$ і коефіцієнт, який характеризує нахил прямої до осі абсцис, мають бути визначені для кожної ділянки апроксимації (рис. 4.3):

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$C_{\Phi\Pi 1} = 0;$$

$$K_{\Phi\Pi 1} = \frac{U_{\Phi\Pi 1}}{U_{P1}};$$

$$K_{\Phi\Pi 2} = \frac{U_{\Phi\Pi 2} - U_{\Phi\Pi 1}}{U_{D2} - U_{D1}};$$

$$K_{\Phi\Pi 3} = \frac{U_{\Phi\Pi 3} - U_{\Phi\Pi 2}}{U_{D3} - U_{D2}}.$$

$C_{\Phi\Pi 1}, C_{\Phi\Pi 2}$ знаходять продовженням відповідного відрізка прямої лінії до перетину з віссю ординат.

Розділ 5. Вибір перетворювача частоти.

5.1. Принцип роботи перетворювача

Статичні перетворювачі частоти є найбільш досконалими пристроями управління асинхронним приводом в даний час.

Принцип частотного методу регулювання швидкості асинхронного двигуна полягає в тому, що, змінюючи частоту f_1 живлячої напруги, можна при незмінному числі пар полюсів p змінювати кутову швидкість магнітного поля статора.

Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, а механічні характеристики володіють високою жорсткістю.

Регулювання швидкості при цьому не супроводиться збільшенням ковзання асинхронного двигуна, тому втрати потужності при регулюванні невеликі.

Для отримання високих енергетичних показників асинхронного двигуна – коефіцієнтів потужності, корисної дії, перевантажувальній здатності – необхідно одночасно з частотою змінювати і напругу, що підводиться.

Закон зміни напруги залежить від характеру моменту навантаження M_c . При постійному моменті навантаження $M_c = const$ напруга на статорі повинна регулюватися пропорційно частоті:

$$\frac{U_1}{f_1} = const$$

Для характеру вентилятора моменту навантаження цей стан має вигляд:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const$$

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Широко-імпульсне управління характеризується періодом модуляції, усередині якого обмотка статора електродвигуна підключається по черзі до позитивного і негативного полюсів випрямляча.

Тривалість цих станів усередині періоду ШИМ модулюється по синусоїдальному закону. При високих (наприклад 2.15 кГц) тактових частотах ШИМ, в обмотках електродвигуна, унаслідок їх властивостей, що фільтрують, течуть синусоїдальні струми.

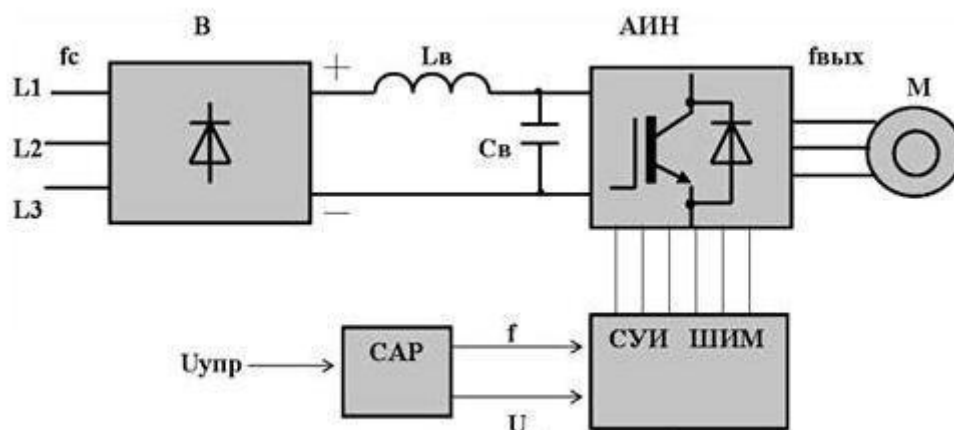


Рис. 5.1- Складові частини частотного перетворювача.

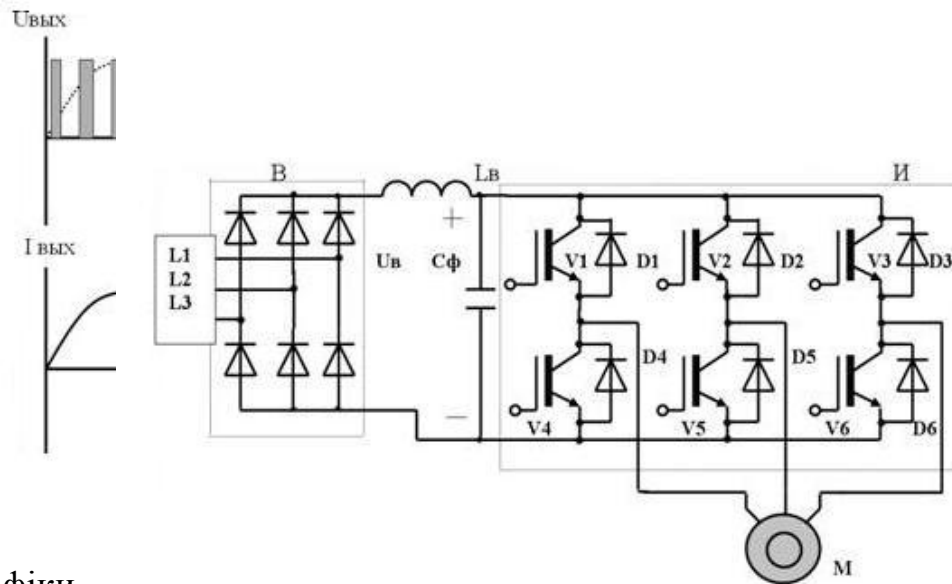
Таким чином, форма кривої вихідної напруги є високочастотною двохполярною послідовністю прямокутних імпульсів (рис. 5.2). Частота імпульсів визначається частотою ШИМ, тривалість (ширина) імпульсів протягом періоду вихідної частоти АІН промодульована по синусоїдальному закону. Форма кривої вихідного струму (струму в обмотках асинхронного електродвигуна) практично синусоїдальна.

Регулювання вихідної напруги інвертора можна здійснити двома способами: амплітудним (АР) за рахунок зміни вхідної напруги U_v і широко-імпульсним (ШИМ) за рахунок зміни програми перемикання вентилів V1-V6 при $U_v = \text{const}$.

Другий спосіб набув поширення в сучасних перетворювачах частоти завдяки розвитку сучасної елементної бази (мікропроцесори, IGBT-транзистори). При широко-імпульсній модуляції форма струмів в обмотках статора асинхронного

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

двигуна виходить близькою до синусоїдальної завдяки властивостям самих обмоток двигуна.



Графіки

Рис.5.2-
широтно-

імпульсної модуляції.

Таке управління дозволяє отримати високий ККД перетворювача і еквівалентно аналоговому управлінню за допомогою частоти і амплітуди напруги.

Сучасні інвертори виконуються на основі повністю керованих силових напівпровідникових приладів – GTO, що замикаються, – тиристорів, або біполярних IGBT-транзисторів з ізольованим затвором. На рис.5.3 представлена 3-х фазна мостова схема автономного інвертора на IGBT-транзисторах.

Вона складається з вхідного ємкісного фільтру C_{ϕ} і шести IGBT-транзисторів $V1-V6$ включеними зустрічно-паралельно діодами зворотного струму $D1-D6$.

За рахунок почергового перемикавання вентилів $V1-V6$ по алгоритму, заданому системою управління, постійна вхідною напруга $U_{в}$ перетвориться в змінну прямокутно-імпульсну вихідну напругу. Через керовані ключі $V1-V6$ протікає активна складова струму асинхронного електродвигуна, через діоди $D1-D6$ – реактивна складова струму.

	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6

Лист

Рисунок 5.3- Спрощена схема перетворювача: И- трифазний мостовий інвертор; В – трифазний мостовий випрямляч; Сф – конденсатор фільтру.

Способи гальмування електродвигуна.

Для того щоб швидко зупинити або сповільнити швидкість механізму, що приводиться у обертання електродвигуном, поряд із механічними застосовують і електричні способи гальмування. Суть електричних способів гальмування складається в тому, що електрична машина в цей період із двигунного режиму переводиться у генераторний, отже, створює електромагнітний момент, направлений проти руху.

Самий простий спосіб зупинки - це вибіг двигуна. Двигун відключається від живильної мережі і зупиняється за інерцією. При цьому час до повної зупинки не регулюється і визначається інерційними властивостями двигуна та його навантаження.

Регулюючий час гальмування забезпечує генераторний спосіб, який полягає у тому, що перетворювач із необхідною швидкістю зменшує вихідну частоту до необхідного значення. При цьому двигун перетворюється у генератор, перетворюючи кінетичну енергію обертання в електричну. У залежності від типу випрямляючого пристрою енергія повертається у первинну мережу або накопичується в контурі постійного струму перетворювача частоти. У другому випадку і у випадку навантаження з великим моментом інерції для розсіювання енергії може знадобитися застосування зовнішнього резистор гальмування, підключення котрого при

					ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

виникненні небезпечної перенапруги у проміжному контурі перетворювача здійснює спеціальна контролююча схема. Таким чином, перевагою генераторного гальмування є передбачений час і плавність зупинки, високий гальмовий момент. Недолік полягає в тому, що енергія виділяється у перетворювачі, і у випадку швидкої зупинки або великого моменту інерції навантаження, для уникнення перегрівання вбудованого резистора контуру постійного струму перетворювача необхідно використання зовнішнього опору.

Для того щоб здійснити гальмування постійним струмом, або, іншими словами динамічне гальмування, із обмотки статора двигуна знімає змінну напругу та на одну або дві фази подає постійну напругу. При цьому магнітне поле буде викликати спочатку сповільнення, а потім і утримання ротора у нерухомому стані. Перевагою динамічного гальмування є виділення електричної енергії в роторі двигуна, що робить непотрібним використання гальмового опору і плавну зупинку. Але оскільки вихідна частота перетворювачем не контролюється, то час гальмування стає величиною невизначеною. Ефективність гальмування в цьому випадку у порівнянні з генераторним методом складає 30...40%. При комбінованому способі гальмування використовується комбінація двох описаних способів, тобто на змінну складову вихідної напруги перетворювача накладається постійна складова. Цей спосіб гальмування поєднує в себе переваги обох електричних способів гальмування і дозволяє ефективно гальмувати електродвигун за короткий час без виділення тепла у перетворювачі.

Управління перетворювачами частоти.

Управління перетворювачами частоти здійснюється за допомогою набору параметрів, які дозволяють здійснити вибір, активізацію або заборону тієї або іншої функції, завдання значення параметра, а також контролювати текуче значення параметра. Параметри можна змінювати та встановлювати кнопками мембранної клавіатури пульта управління перетворювача для налагодження потрібних властивостей перетворювача, таких як час розгону, мінімальні та максимальні

						Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

частоти. Номери вибраних параметрів і встановлені значення параметрів вказуються на чотиризначному цифровому дисплеї. Завдання оптимальних режимів роботи частотно-керованого привода для забезпечення максимальної ефективності функціонування технологічного процесу – питання непросте і вимагає від персоналу знання та урахування особливостей як самого процесу, так і обладнання привода, який використовується. Ось чому іноді, як це зроблено, наприклад, у перетворювачах серії MICROMASTER Eco і MIDIMASTE Eco, із всього набору параметрів виділяють групу спеціально підібраних базових параметрів, налагодження котрих дозволяє для більшості простіших випадків застосування швидко здійснити уведення привода в експлуатацію. Друга група параметрів, зветься експертною, служить для точного налагодження перетворювача. При цьому доступ до другої групи для сторонніх по умовчужанню блокуваний.

Описаний спосіб управління зручний на етапі уведення і в процесі експлуатації для оперативної зміни налагоджень перетворювача. Для використання частотно-керованого привода у складі АСУ ТП необхідно забезпечувати взаємодію перетворювача з іншими учасниками системи управління. Для цього в складі перетворювачів є розвинута система уводу-виводу даних, яка включає в собі дискретні та аналогові входи і виходи, а також послідовні інтерфейси.

У залежності від серії перетворювачі частоти мають від 3 до 6 програмуючих дискретних входів, спроможних ініціювати до 24 різних функцій управління. Всі ці функції можна умовно розділити на декілька груп.

1. До першої групи можна віднести функції управління рухом двигуна, такі як пуск, зупинка, реверс, спосіб гальмування.

2. Другу групу створюють функції управління вихідною частотою перетворювача, таке управління може бути здійснено шляхом вибору значення фіксованої частоти, визначеної для конкретного входу або заданою двійковим кодом стану трьох входів (8 значень). В цю же групу входять функції плавного зменшення або збільшення вихідної частоти при активному стані відповідного дискретного входу.

	3	2			EM та M.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. Третя група об'єднує інші функції, що несуть службове навантаження (дозвіл дистанційного управління, скидання признаку помилки).

Для живлення вхідних кіл може бути використане або внутрішнє джерело живлення із вихідною напругою 15 В постійного струму, або зовнішнє джерело з напругою від 7,5 до 33,0 В постійного струму.

Дискретні входи можуть бути активізовані різними способами, у тому числі механічними кнопками панелі управління установкою, дискретних виходів різних управляючих пристроїв, таких як програмуючі логічні контролери (ПЛК) або пристрої видаленого уводу-виводу (наприклад, серії ADAM-4000 фірми Advantech).

Обертання двигуна насоса за допомогою управляючого пристрою. Управляючим пристроєм системи із перетворювачем частоти може бути логічний модуль. Наявність в цьому модулі годин реального часу дозволяє у заданий час доби через дискретні виходи здійснювати вибір необхідного значення вихідної частоти перетворювача. При цьому може бути корисною особливість перетворювачів частоти, котра полягає в тому, що при одночасній активізації декількох входів перетворювача, через котрі здійснюється вибір фіксованих частот, вихідна частота буде дорівнювати сумі вибраних значень. Виходи, які не застосовані для вибору частоти, можуть бути використані для пуску і зупинки привода насоса або для виконання інших функцій.

Наявність аналогових входів у перетворювачів частоти дозволяє здійснювати безперервне і контролююче управління вихідною частотою. Перетворювачі частоти мають один такий вхід, інші - два, що дає їм додаткові можливості по управлінню приводом. Кожний вхід призначений для виконання визначених функцій. Аналоговий вхід №1 може бути використаний для завдання частоти за допомогою сигналу у вигляді струму або напруги.

При цьому користувачу доступний ряд інтересних можливостей. Наприклад, при дозволеному аналоговому вхідному управлінні може бути заданий режим запуску перетворювача за допомогою вхідного сигналу за досягненням їм визначеного значення, а у перетворювачах можливо реверсивне управління електродвигуном при використанні біполярного сигналу ± 10 В.

						ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

Ручне управління через аналогові входи дуже просто може бути реалізоване при підключенні до перетворювача зовнішнього потенціометра із опором від 5 до 100 кОм, для живлення котрого у перетворювачі передбачене малопотужне джерело з вихідною напругою 10 В. Сигнал з повзуна потенціометра подається на аналоговий вхід №1, при цьому по замовчуванню переміщення повзуна від одного крайнього положення до другого буде викликати зміни значення вихідної частоти в межах від 0 до 50 Гц. Граничні значення діапазону можуть бути змінені шляхом зміни значень відповідних параметрів перетворювача.

Наявність у перетворювачах частоти вбудованої функції ПІД – або ПІ–регулювання дозволяє здійснювати точне регулювання любого зовнішнього параметра, поставленого у залежність від швидкості обертання двигуна: тиску насоса, температури в системах вентиляції, розходу. Для роботи в цьому режимі вимагається застосування відповідного давача.

Зворотний зв'язок. Основне призначення аналогового входу №2 складається у прийомі сигналу від такого давача. Приклад, це використання частото – керуючого електропривода для підтримки постійного тиску в системі водопостачання або вентиляції. Необхідне значення тиску задається через аналоговий вхід №1 за допомогою потенціометра. Датчик тиску, в якості котрого може бути використаний перетворювач частоти, перетворює тиск у трубопроводі в електричний сигнал 4...20 мА, який поступає на другий аналоговий вхід перетворювача частоти. Для електроживлення датчика призначене друге вбудоване джерело живлення з вихідною напругою 15 В і навантажувальною здатністю 50 мА. Завдання коефіцієнтів підсилення пропорційної, інтегральної і диференційної ланок ПІД – регулятора здійснюється через відповідні параметри перетворювача.

Всі описані способи управління перетворювачами частоти є прикладами місцевого управління. Крім того, існує можливість і дистанційного управління з доступом до всіх параметрів перетворювача. Ця можливість може бути реалізована через використання вбудованого у кожний перетворювач частоти послідовного інтерфейсу, що відповідає стандарту EIA RS–85.

					ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

У мережу передачі даних на базі інтерфейсу RS–485 може бути об'єднано до 31 перетворювача, кожний із котрих має свою унікальну адресу, яка задається через відповідний параметр. Управління перетворювачами, які об'єднані у мережу, здійснює ведучий пристрій, в якості котрого може виступати комп'ютер, ПЛК або зовнішній пульт управління перетворювача. Для обміну даними використовується протокол USS, котрий підтримується перетворювачами частоти всіх серій. Цей протокол реалізує конфігурацію «ведучий-ведений», при котрій ініціатором обміну є ведучий пристрій, а ведений тільки відповідає на повідомлення, яке передане в його адресу. Крім того, протоколом USS передбачений і широко повідомлений режим обміну, при котрому адресатами повідомлення є всі пристрої мережі. Максимальна швидкість обміну, яка підтримується протоколом USS, дорівнює 19 кбод. Телеграма має фіксовану довжину 14 байт, кожний із котрих має стандартний для пристроїв з асинхронним режимом обміну формат: 1 старт-біт даних, біт контролю парності і стоп-біт. Це, а також доступність докладного описання протоколу, забезпечує користувачу можливість реалізації протоколу USS для власного управляючого пристрою.

Для ряду серій перетворювачів додатково може бути використаний модуль, який дозволяє виконати підключення перетворювача до промислової мережі PROFIBUS-DP. За допомогою такого модуля забезпечується простий і не дорогий спосіб інтеграції частотно-регулюючого привода в систему автоматизації.

Рамки ДП не дозволяють більш докладно розказати про всі функціональні можливості і особливості застосування перетворювачів частоти фірми Siemens. Для детального ознайомлення з інформацією по цим питанням слід звертатися до відповідних каталогів.

5.2. Вибір перетворювача частоти управління двигуном

Вибраний перетворювач частоти повинен бути розрахований на потужність двигуна преса, тобто на 1,5 кВт.

					ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приймаємо до встановлення частотний перетворювач типу AC70-T3-2R2G/004P

(Таблиця 5.1)

Таблиця 5.1 – Паспортні дані перетворювача частоти

Тип, виконання	<u>AC70-T3-2R2G/004P</u>
Номинальна потужність, кВ·А	5,0
Номинальна потужність двигуна, кВт	2,2,0
Номинальний струм навантаження I _n , А	38,0
Напруга мережі	3·380 В, + 10%, – 15%, 50(60) Гц ± 2% (із заземленою або ізольованою нейтраллю)
Вихідна напруга	3·(0...380 В) ± 2%
Коефіцієнт корисної дії (ККД)	не менше 0,95 (без двигуна)
Коефіцієнт потужності	не менше 0,95
Умови навколишнього середовища:	робоча температура + 1... + 40°C, вологість до 90%.
Короткочасне допустиме відхилення напруги живлення	-40%
Опір ізоляції не менше	10 МОм
Електрична міцність ізоляції	2500 В, 50 Гц, на протязі 1 хв.
Степінь захисту	IP21

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблиця 5.2 – Функціональні можливості ПЧ.

Основні	Управління роботою двигуна у всіх режимах: - пуск за заданим алгоритмом; - тривала робота у заданому діапазоні частот ω ; - реверс; - гальмування і зупинка за заданими алгоритмом
	Регулювання технологічного параметра за рахунок вбудованого ПД-регулятора
	Дистанційний прийом і обробка сигналів управління
Додаткові	Сигналізація, відображення і дистанційна передавання інформації про параметри і режими роботи
	Урахування відпрацьованого часу
	Реєстрація відмов, нештатних і аварійних режимів



AC70-T3-2R2G/004P
Перетворювач частоти
векторний 2.2 кВт (5 А -
150%) / 4 кВт (10А -120%) 3-
ф/380

Бренд : **Veichi**
 Серія : **AC70**
 Основная Мощность, кВт
 : **2.2**
 Число фаз/напряжение на
 входе, В : **3-ф/380**
 Ток номинальный, А : **5**

Рисунок 5.4 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

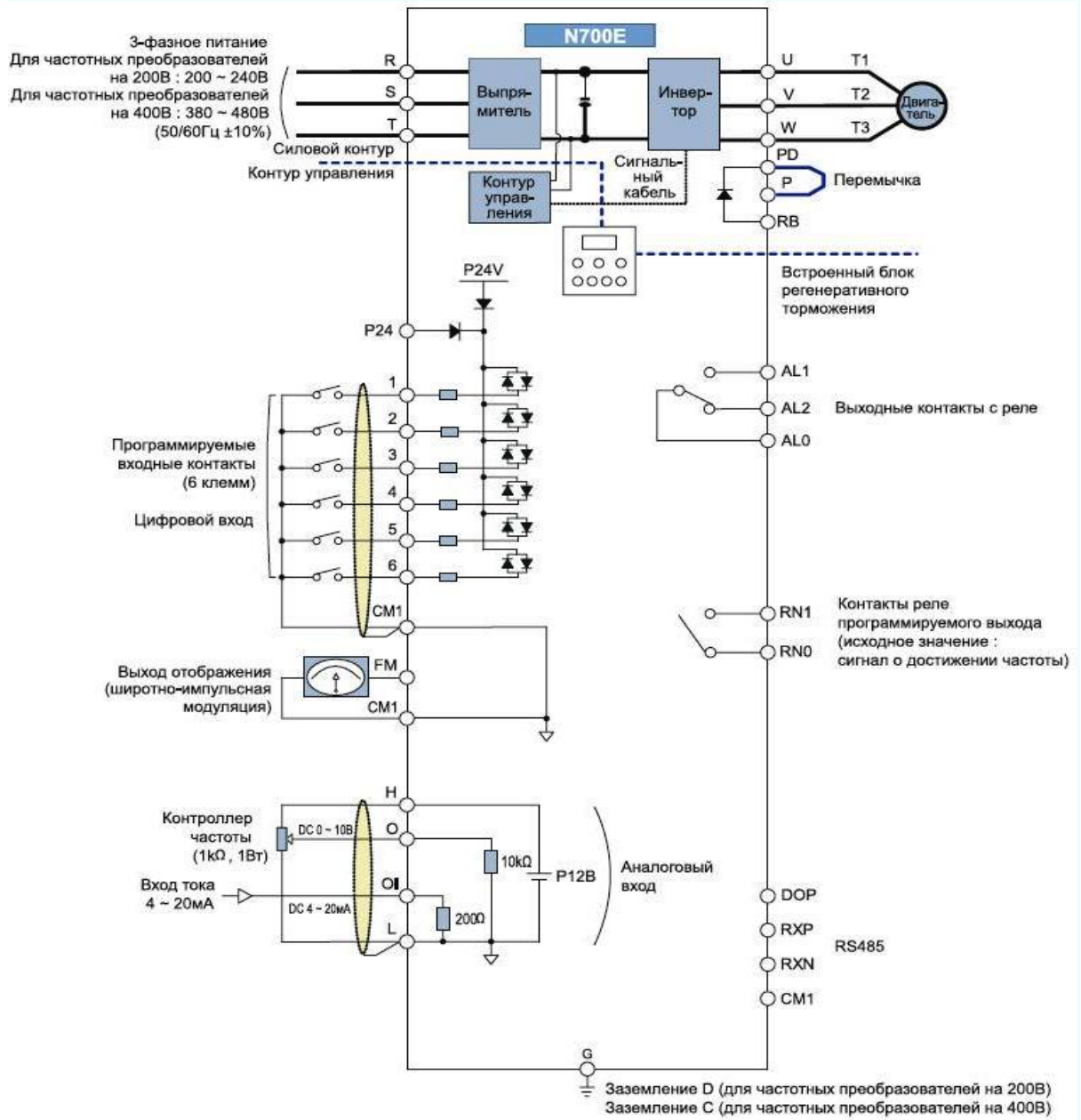


Рисунок 5.5 - Схема підключення кола управління перетворювача частоти.

	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

5.3 Схема електропривода верстата з частотним перетворювачем

Для автоматичного управління приводом машини приймаємо до установки частотний перетворювач фірми [AC70-T3-2R2G/004P](#). Ці перетворювачі частоти працюють від промислової трифазної мережі змінного струму із заземленою або ізольованою нейтраллю.

Режим його роботи програмується і забезпечує:

- плавний розгін і гальмування двигуна;
- робота на заданій частоті;
- зупинка і реверс двигуна;
- робота в розімкненій або замкненій системі регулювання, робота по таймеру.

Перетворювачі т фірми HYUNDAI N700E-002HF забезпечують захист привода машини від струмів короткого замикання і тривалих струмів перевантаження, при обриві одної з фаз або при несиметрії фазних напруг.

Основні технічні дані перетворювача частоти фірми HYUNDAI N700E-002HF з номінальною потужністю $S_{ном} = 12,0$ кВ·А приведені в табл. 5.3..

Таблиця 5.3 - Технічні характеристики перетворювача частоти

$U_{ном}, В$	$f_c, Гц$	$S_{ном}, кВ\cdot А$	$I_{ном}, А$	$U_{вих}, В$	$f_{вих}, Гц$
380×3	50 (60)	2,0	5,0	10...400	1...200

Електрична принципова схема частотного електропривода верстату для намотування дроту на котушки системи ПЧ - представлена на рис. 5.6.

Перелік елементів схеми:

M1 – трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором;

WF1 – перетворювач частоти; QS1 – трифазний рубильник; QF1 – трифазний автоматичний вимикач; KM1 – трифазний магнітний пускач; SF1 – трифазний автоматичний вимикач; SF2 – двофазний автоматичний вимикач; R1 – змінний резистор; GB1 – джерело живлення 220/24 В; K1, K2 – проміжне реле; SB1 – кнопка аварійного відключення з фіксацією; SB2 – планового відключення без фіксації; SB3 – кнопка «Пуск»; SB4 – кнопка «Стоп»; HL1...HL4 – світлодіоди.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

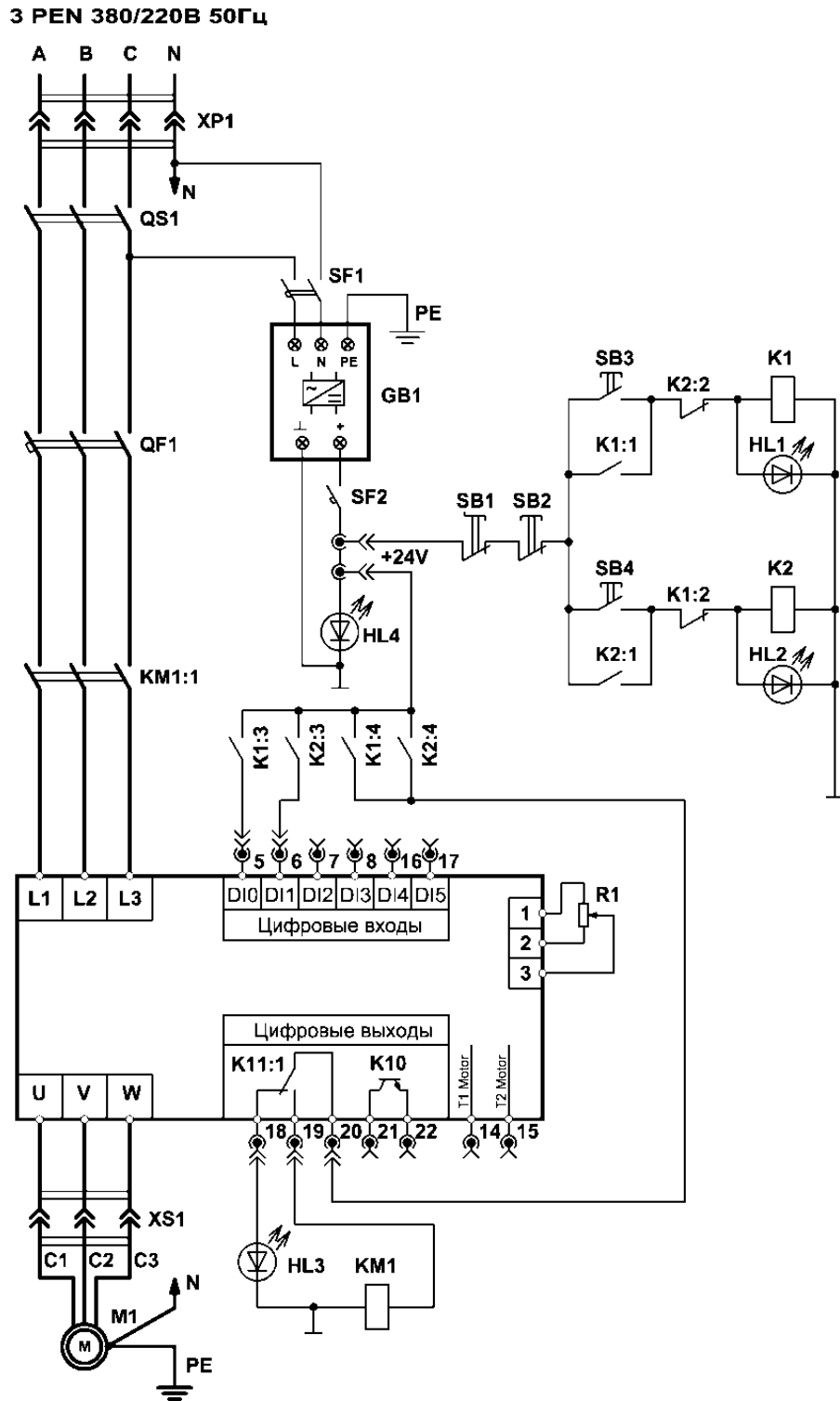


Рисунок 5.6 - Електрична принципова схема частотного управління.

	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6

Лист

Розділ 6 Дослідження електроприводу в програмі matlab simulink

6.1. Постановка задачі

Одним із важливіших елементів при створенні регулюючого електропривода є розробка енергоефективних законів управління і підвищення ККД самої машини. Метою моделювання є створення системи управління асинхронним електроприводом і забезпечення максимального моменту на валу двигуна при низьких швидкостях. Тому велике значення має не тільки вибір системи моделювання, але і адекватність самої моделі до процесів, які відбуваються у перетворювачі. Велике значення при векторному управлінні має система координат, тому рівняння руху розглядаються не в стаціонарній системі координат, а системі координат Парка – Горєва. Це дозволило будувати системи управління з асинхронним двигуном (АД) за тими же принципами, що і системи управління з двигуном постійного струму. При цьому характеристики асинхронного двигуна становляться близькими до характеристик двигуна постійного струму, це дозволяє суттєво підвищити економічну ефективність електропривода з АД.

Моделювання роботи асинхронної машини у режимах двигуна або генератора можна провести за допомогою блоку Asynchronous Machine у пакеті програм MATLAB. Піктограми машини приведені на рис. 6.1.

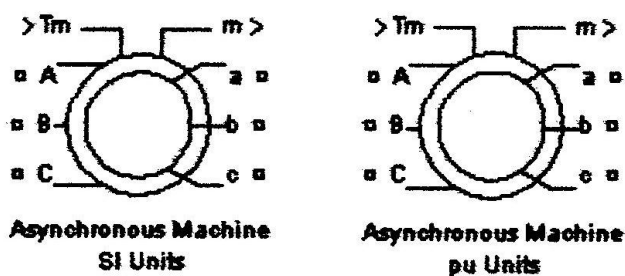


Рисунок 6.1 - Піктограми асинхронної машини

Режим роботи визначається знаком електромагнітного моменту машини.

Порти моделі A , B і C є виводами обмоток статора машини, а порти a , b і c – обмотки ротора машини. Порт Tm призначений для подавання моменту опору руху.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На вихідному порту m формується векторний сигнал, який складається із 21 елемента: струмів, потоків і напруг ротора і статора у нерухомій і обіговій системах координат, електромагнітного моменту, кутової частоти обертання вала, а також його кутового положення. Для зручності витягання змінних машини з вектора в бібліотеці SimPowerSystems передбачений блок MachinesMeasurementDemux. Модель асинхронної машини включає в себе модель електричної частини, яка представлена моделлю простору стану четвертого порядку, і модель механічної частини у вигляді системи другого порядку. Всі електричні змінні і параметри машини приведені до статора. Вихідні рівняння електричної частини машини записані для двофазної (dq -вісі) системи координат. На рис. 5.2 приведена схема заміщення машини.

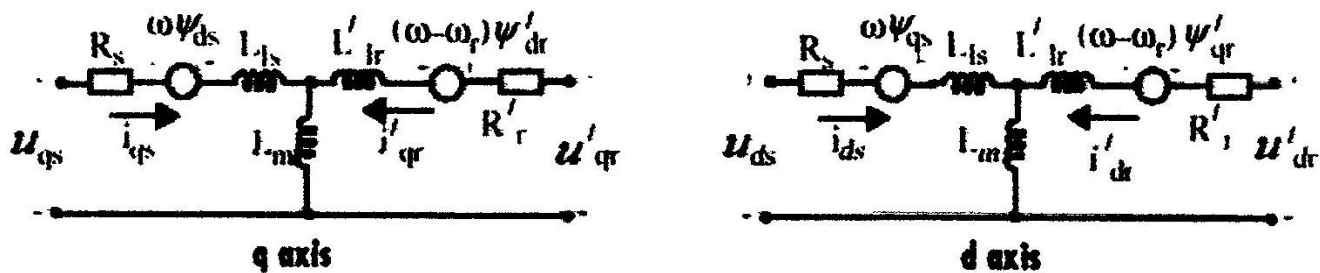


Рисунок 6.2 - Схеми заміщення асинхронної машини

Режим роботи визначається знаком електромагнітного моменту машини.

Порти моделі A , B і 3 є виводами обмоток статора машини, а порти a , b і z – обмотки ротора машини. Порт Tm призначений для подачі моменту опору руху. На вихідному порту m формується векторний сигнал, який складається з 21 елемента: струмів, потоків і напруги ротора і статора в нерухомих системах координат, електромагнітного моменту, кутової частоти обертання вала, а також його кутового положення, що обертаються. Для зручності витягання змінних машини з вектору в бібліотеці SimPowerSystems передбачений блок MachinesMeasurementDemux. Модель асинхронної машини включає модель електричної частини, яка представлена моделлю простору станів четвертого порядку, і моделлю механічної частини у вигляді системи другого порядку. Всі електричні змінні і параметри машини

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

приведені до статора. Вихідні рівняння електричної частини машини записані для двофазної (dq-вісі) системи координат.

Рівняння електричної частини машини мають вигляд:

$$u_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \cdot \psi_{qs} + \omega \psi_{ds},$$

$$u'_{dr} = R'_r i'_{dr} + \frac{d}{dt} \psi'_{dr} - \omega - \omega_r \psi'_{qr},$$

$$T_e = 1,5 \psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds} ,$$

де:

$$\psi_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qr}, \psi_{ds} = L_s i_{qs} + L_m i'_{dr}, \psi'_{qr} = L'_r i'_{qr} + L_m i_{qs},$$

$$\psi'_{dr} = L'_r i'_{dr} + L_m i_{ds}, L_s = L_{ls} + L_m, L'_r = L'_{lr} + L_m.$$

Індекси в системі рівнянь машини мають наступні значення:

- d – проекція змінної на вісь d ;
- q – проекція змінної на вісь q ;
- r – індекс, який позначає параметр або змінну ротора;
- s – індекс, який позначає параметр або змінну статора;
- l – індуктивність розсіювання;
- m – індуктивність кола намагнічування.

Механічна частина машини описується двома рівняннями:

$$\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{1}{2H} T_e - F \omega_m - T_m ,$$

$$\frac{d}{dt} \theta_m = \omega_m .$$

Змінні в рівняннях машини мають такі значення:

- R_s, L_{ls} – активний опір і індуктивність розсіювання статора;
- R'_r, L'_{lr} - активний опір і індуктивність розсіювання ротора;
- L_m – індуктивність кола намагнічування;
- L_s, L'_r – повні індуктивності статора і ротора;
- U_{qs}, i_{qs} – проекції напруги і струму статора на вісь q ;
- u'_{qr}, i'_{qr} - проекції напруги і струму ротора на вісь q ;

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- u_{ds}, i_{ds} - проєкції напруги і струму статора на вісь d ;
- u'_{dr}, i'_{dr} - проєкції напруги і струму ротора на вісь d ;
- Y_{ds}, Y_{qs} – проєкції потокозчеплення статора на вісі d і q ;
- ψ'_{dr}, ψ'_{qr} - проєкції потокозчеплення ротора на вісі d і q ;
- ω_m – кутова частота обертання ротора;
- θ_m – кутове положення ротора;
- p – число пар полюсів;
- ω_Y – електрична кутова частота обертання ротора ($\omega_m \times p$);
- θ_Y – електричне кутове положення ротора ($\theta_m \times p$);
- T_e – електромагнітний момент;
- T_m – механічний момент на валу;
- J – сумарний момент інерції машини і навантаження;
- H – сумарна інерційна постійна машини і навантаження;
- F – сумарний коефіцієнт в'язкого тертя (машини і навантаження).

З Simulink-моделлю асинхронної машини можна ознайомитися, відкривши бібліотеку `powerlib_models.mdl` у папці...`toolbox\physmod\powersys\powersys`.

6.2. Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна

Для моделювання роботи асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором у пакеті програм MATLAB потрібно розрахувати параметри схеми заміщення двигуна (рис. 3.3). Параметри схеми заміщення двигуна в технічних довідниках приведені у відносних одиницях.

					ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
3	2					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

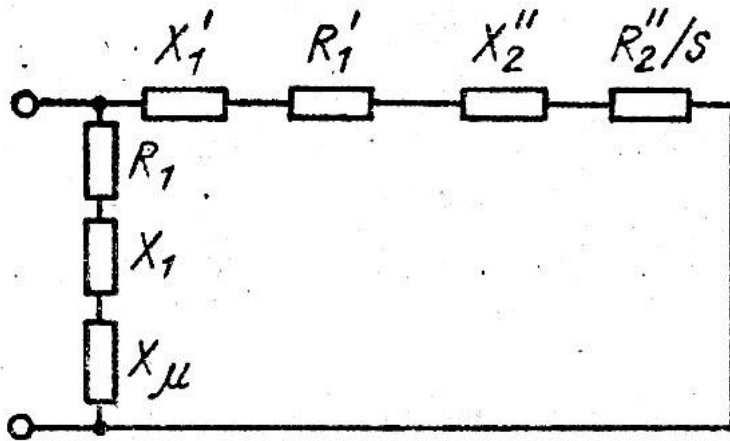


Рис. 6.3 - Схема заміщення фази асинхронного двигуна.

	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6

Лист

Таблиця 6.1 - Параметри схеми заміщення фази АД серії 4А80В4У3.

Параметри схеми заміщення фази АД у відносних одиницях				
x_μ	У номінальному режимі			
	r_1^I	x_1^I	r_2^{II}	x_2^{II}
1,9	0,12	0,078	0,069	0,12

Для переведення параметрів схеми заміщення з відносних одиниць у фізичні одиниці знайдемо базовий опір двигуна:

$$R_B = \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}}, \quad (6.1)$$

де $U_{\text{НОМ}}$ – номінальна напруга двигуна, $U_{\text{НОМ}} = 380$ В;

$I_{\text{НОМ}}$ – номінальний струм двигуна, $I_{\text{НОМ}} = 2,92$ А.

Тоді базовий опір двигуна:

$$R_B = \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}} = \frac{380}{2,92} = 130,0 \text{ Ом.}$$

Отримавши базовий опір можна розрахувати необхідні для моделювання двигуна параметри схеми заміщення в фізичних одиницях:

Активний опір статора:

$$R_1^I = R_B \cdot r_1^I = 130 \cdot 0,12 = 15,60 \text{ Ом.} \quad (6.2)$$

Індуктивний опір статора:

$$X_1^I = R_B \cdot x_1^I = 130 \cdot 0,078 = 10,14 \text{ Ом.} \quad (6.3)$$

Активний опір ротора:

$$R_2^{II} = R_B \cdot r_2^{II} = 130 \cdot 0,069 = 8,97 \text{ Ом.} \quad (3.4)$$

Індуктивний опір ротора:

$$X_2^{II} = R_B \cdot x_2^{II} = 130 \cdot 0,12 = 15,60 \text{ Ом.} \quad (6.5)$$

Індуктивний опір гілки намагнічування в схемі заміщення АД з КЗ ротором:

$$X_\mu = R_B \cdot x_\mu = 130 \cdot 1,9 = 247 \text{ Ом.} \quad (6.6)$$

Для того щоб знайти потрібні значення індуктивностей скористаємося тим, що індуктивний опір прямо пропорційний кутовій частоті і індуктивності, звідки

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

впливає, що індуктивність також прямо пропорційна індуктивному опору та обернено пропорційна кутовій частоті. Враховуючи цей факт індуктивність статора дорівнює:

$$L_1 = \frac{X_1^I}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{10,14}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 32,3 \cdot 10^{-3} \text{Гн.} \quad (6.7)$$

Індуктивність ротора:

$$L_2 = \frac{X_2^{II}}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{15,60}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 49,7 \cdot 10^{-3} \text{Гн.} \quad (6.8)$$

Індуктивність гілки намагнічування в схемі заміщення АДр-КЗ:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{247}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,79 \text{ Гн.} \quad (6.9)$$

Момент інерції ротора двигуна АД з паспортних даних:

$$J_{ДВ} = 0,013 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Вихідні та розраховані параметри двигуна напишімо в таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 Технічні параметри двигуна електропривода намотувального верстата

Двигун 4А80В4У3							
$P_{НОМ}$, кВт	$n_{НОМ}$, об/хв.	$\eta_{НОМ}$, %	$\cos\varphi_{НОМ}$	$J_{ДВ}$, кг·м ²	$U_{НОМ}$, В	$I_{НОМ}$, А	R_B , Ом
1,5	1420	78,0	0,83	0,013	380	2,92	130
Параметри схеми заміщення фази АД у відносних одиницях							
x_μ	r_1^I	x_1^I	r_2^{II}	x_2^{II}	—	—	—
1,9	0,12	0,078	0,069	0,12	—	—	—
Параметри схеми заміщення фази АД у фізичних одиницях							
X_μ , Ом	R_1^I , Ом	X_1^I , Ом	R_2^{II} , Ом	X_2^{II} , Ом	L_1 , мГн	L_2 , мГн	L_μ , Гн
247	15,60	10,14	8,97	15,60	32,3	49,7	0,79

Маючи усі потрібні величини, задамо їх у модель асинхронного двигуна у середовищі Simulink пакету Matlab і проведемо моделювання.

					ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

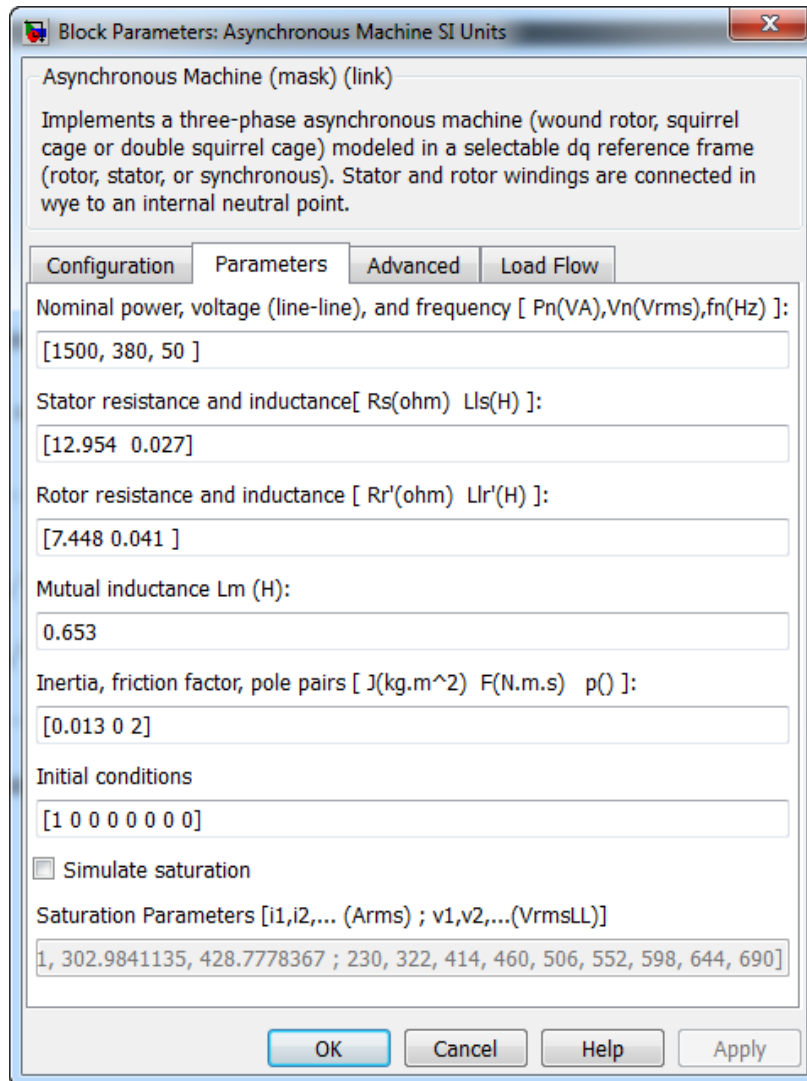


Рисунок 6.4 – Вікно параметрів моделі АД з КЗ ротором.

6.3 Моделювання прямого пуску двигуна

Модель прямого пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором електропривода представлена нижче (рис. 3.5).

Схема містить джерело трифазного живлення, трифазний вимірювач напруги і струму обмоток статора двигуна, графобудівник механічної характеристики, осцилографи та вимірювальні прилади.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

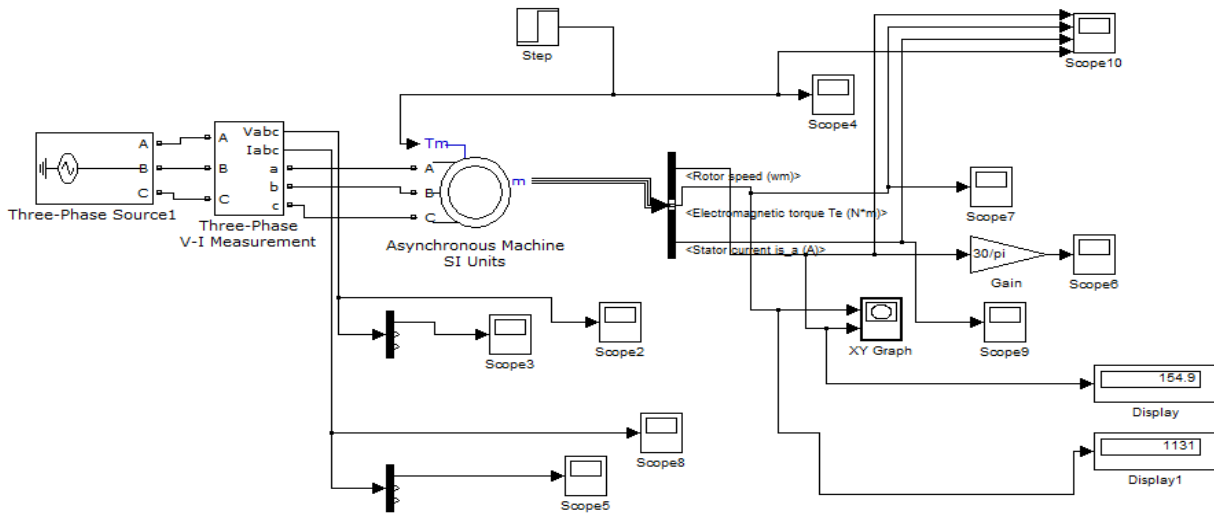


Рисунок 6.5 – Схема моделі прямого пуску асинхронного двигуна.

Навантаження на валу двигуна дорівнює розрахованому в статичному моменті механізму і є ступінчастим, яке починає діяти після того як двигун розігнався до номінальної швидкості та закінчилися перехідні процеси. Динамічний момент шнеку екструдера не враховується, так як він на декілька порядків нижче статичного моменту механізму. Водночас динамічний момент двигуна враховується в моделі для адекватного розрахунку параметрів під час холостого ходу, наприклад час розгону.

Нижче представлений графік залежності швидкості (по вісі ординат) та електромагнітного моменту двигуна (по вісі абсцис) при розгоні АД. Ця залежність називається механічною характеристикою двигуна АД.

Нижче представленні результати моделювання процесу прямого пуску АД з КЗ ротором в середовищі Simulink, пакету Matlab.

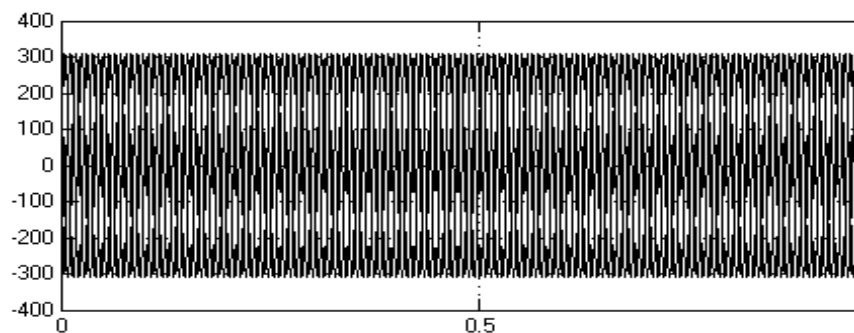


Рисунок 6.6 – Графік напруги живлення двигуна.

	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

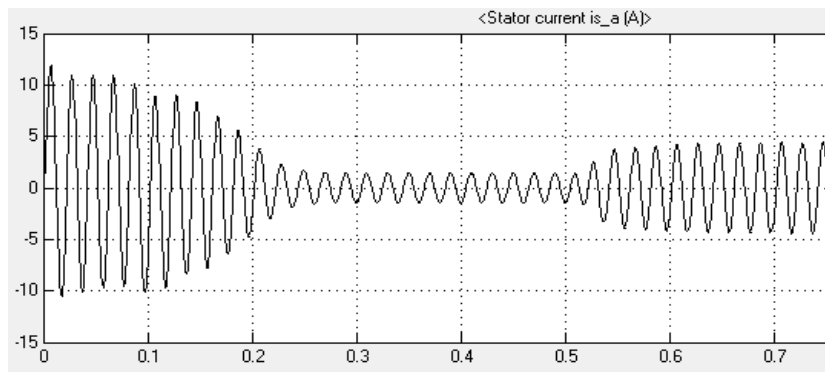


Рисунок 6.7 – Графік струму фази статора двигуна

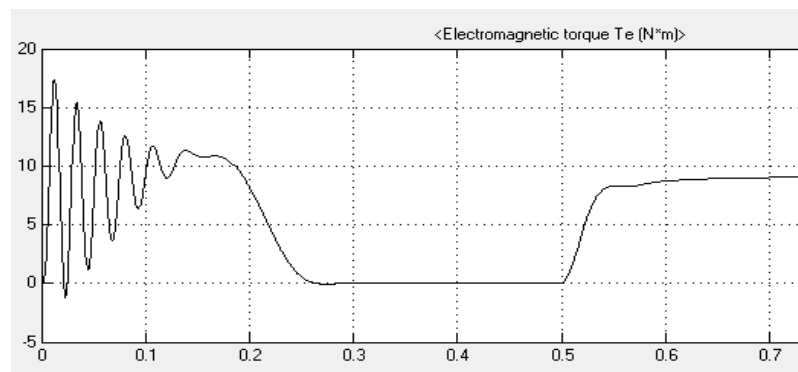


Рисунок 6.8 – Електромагнітний момент двигуна

6.4 Моделювання пуску двигуна з перетворювачем частоти

Модель електропривода з перетворювачем частоти ПЧ-АД представлена нижче. В моделі використовується система управління із зворотним зв'язком за швидкістю двигуна, яка забезпечує широкий діапазон регулювання швидкості. Схема містить джерело трифазного живлення з ШІМ, трифазний вимірювач напруги і струму обмоток статора двигуна, осцилографи та вимірювальні прилади. Закон зміни частоти струму аперіодичний. Навантаження на валу двигуна ідентичне моделюванню при прямому пуску.

	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

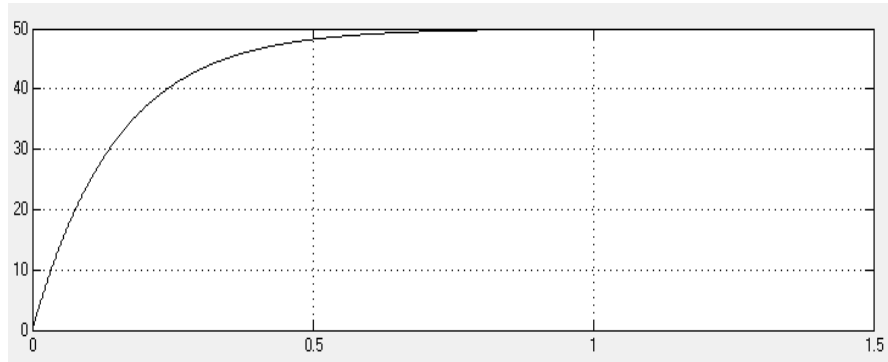


Рисунок 6.11 – Графік зміни частоти вихідної напруги перетворювача частоти.

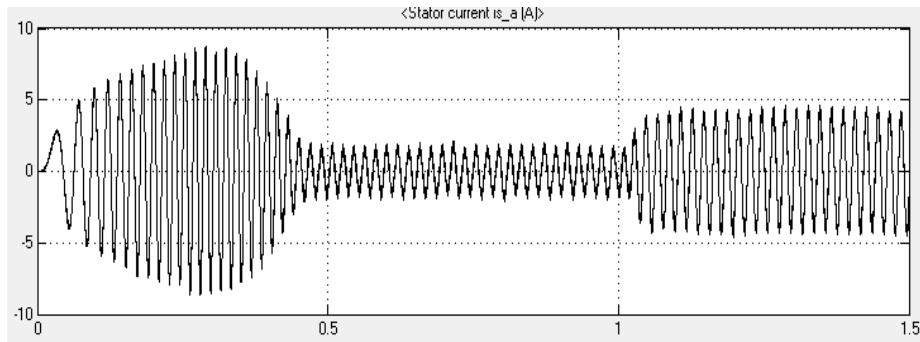


Рисунок 6.12 – Графік струму фази статора двигуна

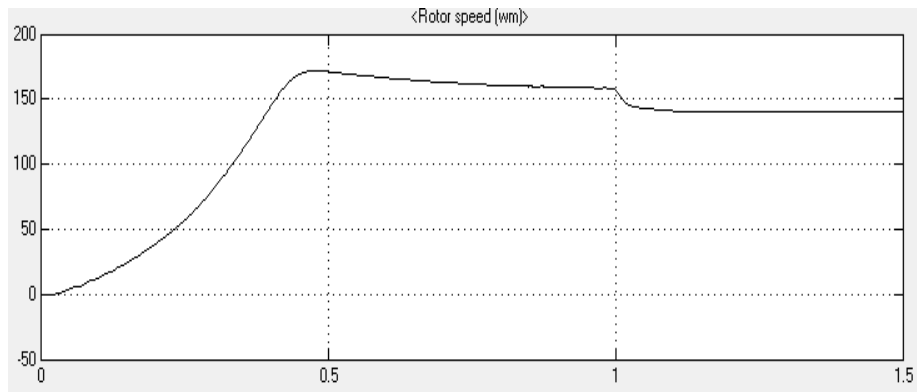
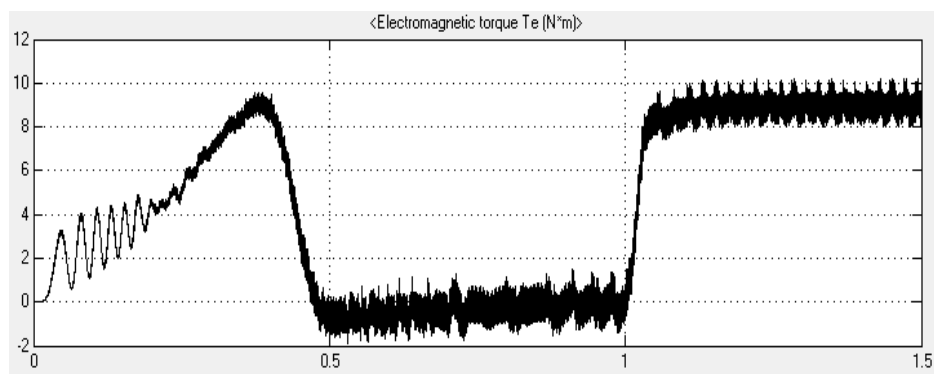


Рисунок 6.13 – Графік швидкості ротора двигуна



	3	2		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Рисунок 6.14 – Графік електромагнітного моменту двигуна

					ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6.5. Висновки і пропозиції

При прямому пуску асинхронного двигуна напруга живлення АД 380 В з частотою 50 Гц подаються незмінними. Спостерігається великий пусковий струм, пусковий струм у 5...6 разів більше ніж номінальний. Тривалість пускового часу двигуна при відсутності завантаження складає біля 0,3 с, а струм зменшується до струму холостого ходу. Розгін ротора АД до номінальної частоти обертання теж складає біля 0,4 с, електромагнітний момент двигуна спочатку значно збільшується, а після розгону АД зменшується.

Після ступінчастого накиду навантаження двигуна струм та електромагнітний момент АД зростають до номінальних значень.

При пуску АД із перетворювачем частоти напруга живлення АД і частота змінного струму поступово зростають до номінальних значень 380 В 50 Гц за 0,5 с, імпульси пускового струму двигуна значно зменшуються, а час розгону двигуна позростає від 0,3 с до 0,5 с.

Механічні удари електропривода при пуску преса з ПЧ будуть менше, ніж при прямому пуску.

Розімкнена схема керування електроприводом намотувального пристрою, перетворювач частоти ПЧ і трифазний асинхронний двигун серії 4А80В4У3 потужністю 1,5 кВт забезпечать необхідну точність підтримки 5,0% в заданому діапазоні регулювання частоти обертання котушки 25...50 об/хв., тобто забезпечать нормальну роботу електрифікованого агрегату.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

приведених витрат, котрий є сумою річних експлуатаційних витрат та капітальних вкладень, приведених до одної розмірності у відповідності із нормативним коефіцієнтом ефективності.

Капітальні вкладення включають в собі всі одночасні витрати: відпускну ціну нової техніки, витрати на її транспортування, монтаж і налагодження, витрати на демонтаж старого обладнання та інше:

$$Z = C + E_H \cdot K, \quad (7.1)$$

де C – сума річних експлуатаційних витрат, грн.;

K – капітальні вкладення, грн.;

E_H – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E_H = 0,08 \dots 0,20$ (для нової техніки $E_H = 0,20$).

Повні експлуатаційні витрати базового і нового варіантів:

$$Z_{BB} = Z_{EB} + Z_{PB} + Z_{AB} + Z_{MB}, \quad (7.2)$$

$$Z_{BH} = Z_{EH} + Z_{PH} + Z_{AH} + Z_{MH}, \quad (7.3)$$

де Z_{EB} , Z_{EH} – витрати на електроенергію базового і нового варіантів;

Z_{PB} , Z_{PH} – витрати на ремонт електропривода базового і нового варіантів;

Z_{AB} , Z_{AH} – витрати на амортизацію електропривода базового і нового варіантів;

Z_{MB} , Z_{MH} – витрати на допоміжні матеріали для ремонту електропривода базового і нового варіантів;

B , H – індекси « B » і « H » відносяться до базового і нового варіантів.

Річний економічний ефект від модернізації електропривода намотувального пристрою за експлуатаційними витратами згідно формули:

$$Z_{E\Phi} = Z_{EB} - Z_{EH}. \quad (7.4)$$

де Z_{BB} , Z_{BH} – експлуатаційні витрати базового і нового варіантів.

Строк окупності капітальних витрат розраховують за формулою:

$$T_{OK} = \frac{K_H - K_B}{Z_{BB} - Z_{BH}}, \quad (7.5)$$

де T_{OK} – строк окупності капітальних витрат, рік;

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

K_B, K_H – капітальні вкладення базового і нового варіантів;

Z_{BB}, Z_{BH} – експлуатаційні витрати базового і нового варіантів.

7.2 Визначення капітальних витрат для базового і нового варіантів

Кошториси на обладнання для базового і нового варіантів приведені у табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Визначення кошторису капітальних витрат для нового та базового варіантів

Назва електрообладнання	N, шт.	Кошторисна вартість			
		Базова		Нова	
		за шт., грн.	всього, грн.	за шт., грн.	всього, грн.
Перетворювач частоти	1	-	-	14000	14000
Релейно-контакторна система управління	-	5500	5500	-	-
Двигун	1	4200	4200	4200	4200
Всього			9700		18200
Транспортні витрати (13%)			1261		2366
Всього ціна обладнання			10961		20566
Монтажні роботи (10%)			970		1820
Капітальні вкладення, всього			11931		22386

Кошторис капітальних витрат для нового та базового варіантів складає:

$$K_B = 11931 \text{ грн.}, K_H = 22386 \text{ грн.}$$

7.3 Розрахунок основного фонду зарплати

Розрахуємо оплату праці за існуючим тарифом. Так як ця установка є установкою з напругою до 1000 В, номінальна напруга живлення $U = 0,4 \text{ кВ}$, то

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

згідно ПУЕ обслуговувати дану установку можуть 2 робочих, у котрих розряд не нижче четвертого, а група допуску - не нижче третьої за електробезпеку. Один робочий обслуговує та ремонтує $n = 6$ намотувальних верстатів.

Тарифна ставка електромонтажника 1-го розряду T_{C1} складає 16,0 грн./год., а тарифна ставка робочого 4-го розряду T_{C4} на 27% більше:

$$T_{C4} = 1,27 \cdot T_{C1} . \quad (7.6)$$

Тоді:

$$T_{C4} = 1,27 \cdot T_{C1} = 1,27 \cdot 16,0 = 20,32 \frac{\text{грн.}}{\text{год.}}$$

Розрахуємо місячну заробітну плату електромонтажника 4-го розряду за існуючим тарифом:

$$З_T = T_{C4} \cdot m = 20,32 \cdot 25 \cdot 8 = 4064 \text{ грн.}$$

де T_{C4} – це тарифна ставка робочого IV розряду;

m – кількість робочих днів у місяці, $m = 25$.

Оплата праці за професійну і майстерну діяльність:

$$П_{ПМ} = \frac{З_T \cdot Н_{ПМ}}{100} , \quad (7.7)$$

де $Н_{ПМ}$ – надбавка за професійну діяльність (для робітників четвертого розряду складає 10%).

Тоді:

$$П_{ПМ} = \frac{З_T \cdot Н_{ПМ}}{100} = \frac{4064 \cdot 10}{100} = 406 \text{ грн.}$$

Оплата за шкідливі умови праці:

$$П_{УП} = \frac{(З_T + П_{ПМ}) \cdot Н_{УП}}{100} . \quad (7.8)$$

Тоді:

$$П_{УП} = \frac{(З_T + П_{ПМ}) \cdot Н_{УП}}{100} = \frac{(4064 + 406) \cdot 17}{100} = 760 \text{ грн.}$$

де $Н_{УП}$ - надбавка за умови праці, для четвертого розряду складає 17%.

Всього постійна заробітна плата складає:

$$З_{\text{пост}} = З_T + П_{ПМ} + П_{УП} . \quad (7.9)$$

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тоді:

$$З_{\text{ПОСТ}} = З_{\text{T}} + П_{\text{ПМ}} + П_{\text{УП}} = 4064 + 406 + 760 = 5230 \text{ грн.}$$

Оплата премій $P = 15 \dots 20\%$:

$$П_{\text{ПР}} = \frac{З_{\text{ПОСТ}} \cdot P}{100}. \quad (7.10)$$

Тоді:

$$П_{\text{ПР}} = \frac{З_{\text{ПОСТ}} \cdot P}{100} = \frac{5230 \cdot 18}{100} = 941 \text{ грн.}$$

Всього основна заробітна плата:

$$З_{\text{ОСН}} = З_{\text{ПОСТ}} + П_{\text{ПР}}. \quad (7.11)$$

Тоді:

$$З_{\text{ОСН}} = З_{\text{ПОСТ}} + П_{\text{ПР}} = 5230 + 941 = 6171 \text{ грн.}$$

Розрахуємо додаткову заробітну плату (10,0%):

$$З_{\text{ДОП}} = З_{\text{ПОСТ}} \cdot 0,1. \quad (7.12)$$

Тоді:

$$З_{\text{ДОП}} = З_{\text{ПОСТ}} \cdot 0,1 = 5230 \cdot 0,1 = 523 \text{ грн.}$$

Знайдемо суму відрахування в фонд соціального страхування, що складає 22,0% від суми додаткової і основної заробітної плати:

$$З_{\text{ПФ}} = \frac{22,0 \cdot (З_{\text{ОСН}} + З_{\text{ДОП}})}{100}. \quad (7.13)$$

Тоді:

$$З_{\text{ПФ}} = \frac{22,0 \cdot (З_{\text{ОСН}} + З_{\text{ДОП}})}{100} = \frac{22,0 \cdot (6171 + 523)}{100} = 1493 \text{ грн.}$$

Загальний фонд оплати праці двох робочих електромеханіків 4-го розряду за рік (12 місяців) на один намотувальний верстат складає:

$$\Phi = \frac{2 \cdot З_{\text{ОСН}} + З_{\text{ДОП}} + З_{\text{ПФ}} \cdot 12}{n}, \quad (7.14)$$

де n – кількість намотувальних верстатів, $n = 2$.

Тоді:

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\Phi = \frac{Z_{ОСН} + Z_{ДОП} + Z_{ПФ} \cdot 12}{n} = \frac{2 \cdot (6171 + 617 + 1493) \cdot 12}{2} = 99372 \text{ грн.}$$

7.4 Розрахунок експлуатаційних витрат для базового і нового варіантів

1 Витрати на електроенергію для базового варіанту складають:

$$Z_E = P \cdot n_0 \cdot m_0 \cdot T, \quad (7.15)$$

де P - потужність двигуна, $P = 1,5$ кВт;

n_0 - кількість робочих годин у день, $n_0 = 16$ год.;

m_0 - кількість робочих днів у році, $m_0 = 330$;

T - тариф на вартість електроенергії, $T = 1,98$ грн./кВт·год.

Тоді:

$$Z_{EB} = P \cdot n_0 \cdot m_0 \cdot T = 1,5 \cdot 16 \cdot 330 \cdot 1,98 = 15682 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію при встановленні частотного перетворювача зменшуються на 10%:

$$Z_{EH} = Z_{EB} - 0,1 \cdot Z_{EB}. \quad (7.16)$$

Тоді:

$$Z_{EH} = Z_{EB} - 0,1 \cdot Z_{EB} = 15682 - 0,1 \cdot 15682 = 14114 \text{ грн.}$$

2. Витрати на поточний ремонт обладнання електропривода намотувального пристрою

При використанні ПЧ зменшуються пускові струми, втрати енергії в кабелях, збільшується надійність всієї установки, таким чином кількість поломих зменшується, а надійність системи електропривода зростає. Плануючі витрати на поточний ремонт та обслуговування при базовому варіанті складають 5%, а при новому 3% від капіталовкладень для базового і нового варіантів.

Кошторис капітальних витрат для нового та базового варіантів складає:

$$K_B = 11931 \text{ грн.}, K_H = 22386 \text{ грн.}$$

Тоді:

$$Z_{PB} = 0,05 \cdot K_B, \quad (7.17)$$

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

тоді:

$$Z_{PB} = 0,05 \cdot 11931 = 597 \text{ грн.}$$

Тоді:

$$Z_{PH} = 0,03 \cdot K_H, \quad (7.18)$$

тоді:

$$Z_{PH} = 0,03 \cdot K_H = 0,03 \cdot 22386 = 672 \text{ грн.}$$

3. Витрати на амортизаційні відрахування:

$$Z_A = E_H \cdot K, \quad (7.19)$$

де $E_H = 0,08 \dots 0,20$ – норма амортизаційних відрахувань, $E_H = 0,20$.

Тоді:

$$Z_{AB} = E_{HB} \cdot K_B = 0,20 \cdot 11931 = 2386 \text{ грн.}$$

$$Z_{AH} = E_{HH} \cdot K_H = 0,20 \cdot 22386 = 4477 \text{ грн.}$$

4. Витрати на допоміжні матеріали для ремонту при базовому варіанті складають $k_B = 10,0\%$, а при новому $k_H = 5,0\%$ від фонду оплати праці:

$$Z_M = k \cdot \Phi. \quad (7.20)$$

Тоді:

$$Z_{MB} = k_B \cdot \Phi = 0,10 \cdot 99372 = 9937 \text{ грн.,}$$

$$Z_{MH} = k_H \cdot \Phi = 0,05 \cdot 99372 = 4969 \text{ грн.}$$

5. Повні експлуатаційні витрати базового і нового варіантів згідно формулам (5.2) і (5.3) складають:

$$Z_{BB} = Z_{EB} + Z_{PB} + Z_{AB} + Z_{MB} = 15682 + 597 + 2386 + 9937 = 28602 \text{ грн.,}$$

$$Z_{BH} = Z_{EH} + Z_{PH} + Z_{AH} + Z_{MH} = 14114 + 672 + 4477 + 4969 = 24232 \text{ грн.}$$

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7.5 Розрахунок річної економічної ефективності та строку окупності

7.5.1 Розрахуємо річний економічний ефект від модернізації електропривода верстата для намотки котушок за експлуатаційними витратами

Згідно формули (5.4):

$$Z_{E\Phi} = Z_{EB} - Z_{EH} = 28602 - 24232 = 4370 \text{ грн.}$$

7.5.2 Строк окупності капітальних витрат на модернізацію електропривода верстата для намотки котушок

Згідно формули (7.5) складає:

$$T_{OK} = \frac{K_H - K_B}{Z_{BB} - Z_{BH}} = \frac{22386 - 11931}{28602 - 24232} = \frac{10455}{4370} = 2,39 \text{ років.}$$

Висновок. Річний економічний ефект від модернізації електропривода верстата для намотки котушок за експлуатаційними витратами складає $Z_{E\Phi} = 4370$ грн./рік, а строк окупності капітальних витрат дорівнює $T_{OK} = 2,39$ років.

Модернізація електропривода верстата для намотки котушок економічно доцільною, так як строк окупності електропривода менше, ніж 3 роки.

	3	2			ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Висновки по роботі.

1. При прямому пуску пусковий струм у 5...6 разів більше ніж номінальний.

2. Після ступінчастого накиду навантаження двигуна струм та електромагнітний момент зростають до номінальних значень.

3. При пуску двигуна з перетворювачем частоти пусковий струм двигуна значно зменшується, а час розгону двигуна поступово зростає.

4. Механічні удари електропривода при пуску з перетворювачем частоти будуть менше, ніж при прямому пуску.

5. В розрахунках економічної ефективності від модернізації електроприводу верстата для намотки котушок показано, що економічний ефект від модернізації електропривода верстата для намотки котушок 4370 грн./рік, строк окупності 2,39 роки.

					ЕМ та М.663-03.06.11.23.1.1.6	Лист
	3	2				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

