

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) Сергій ПЕРЕСАДА

“ ____ ” _____ 20__ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Електромеханічні системи
автоматизації, електропривод та електромобільність»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

на тему: Електропривод і автоматизація підвісного штовхаючого конвеєра

Виконав: студент 4 курсу, групи _____ ЕП-71
(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові) Тищенко Іван Андрійович _____
(підпис)

Керівник _____ к.т.н., доцент Теряєв Віталій Іванович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Рецензент _____ к.т.н., доцент Цивінський Сергій Станіславович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2021 р.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

[illegible]

| | | | | | | |
|-----------|----------------|---|------|---------------------------------|---|--------|
| | | | | 141.7115.027.БР | | |
| | ПІБ | Підп. | Дата | Відомість дипломного проекту | Лист | Листів |
| Розробн. | Тищенко І.А. |  | | | 2 | |
| Керівн. | Теряєв В. І. |  | | | КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП-71 | |
| Консульт. | | | | | | |
| Н/контр. | | | | | | |
| Зав.каф. | Пересада С. М. | | | | | |

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: Електропривод і автоматизація підвісного штовхаючого конвеєра

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики
(повна назва)

Кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва)

Освітньо-професійна програма – Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та електромобільність

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Сергій ПЕРЕСАДА
(підпис)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Тищенко Івану Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Електропривод і автоматизація підвісного штовхаючого конвеєра

керівник проекту Теряєв Віталій Іванович к.т.н., доцент _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту 5.06.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту Вантажопідйомність конвеєра: до 2,5 т, довжина вантажів: від декількох саніметрів до 6-12 м, швидкіст руху вантажів: від 0,1 до 30 м/хв, довжина конвеєрів: до 500-600 м при однодвигунному приводі і до 2-3 км при багатодвигунному приводі

4. Зміст пояснювальної записки 1. Аналітичний огляд в області конвеєрів для складання автомобілів 2. Визначення потрібної потужності тягового електродвигуна штовхаючого конвеєра 3. Вибір електродвигуна та силового

обладнання для електроприводу штовхаючого конвеєра. Розробка та розрахунок силової схеми перетворювального пристрою 4. Математична модель електромеханічного об'єкта. 5.Проектування системи керування електроприводом конвеєра 6.Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1.Загальний вид агрегату 2.Схема електрична принципова 3. Результати моделювання

6. Консультанти розділів проекту

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

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

7. Дата видачі завдання 15.03.2021 р.


Календарний план виконання дипломного проекту на тему «Електропривод і автоматизація підвісного штовхаючого конвеєра»

| Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання | Обсяг, с | Термін виконання | Позначки про виконання |
|---|----------|------------------|------------------------|
| 1.Аналітичний огляд в області конвеєрів для складання автомобілів 1.1.Галузі використання та типові технічні рішення з автоматизації процесів складання автомобілів (з ілюстраціями) 1.2. Опис технологічного процесу складання автомобілів на штовхаючому конвеєрі (з ілюстраціями та схемами) 1.3.Формулювання вимог до електроприводу та систем автоматизації | 15 | 04.04.21 | |
| 2.Визначення потрібної потужності тягового електродвигуна штовхаючого конвеєра 2.1. Розрахунок потрібного моменту та швидкості електродвигуна 2.2. Обґрунтування вибору потужності електродвигуна | 10 | 15.04.21 | |
| 3.Вибір електродвигуна та силового обладнання для електроприводу штовхаючого конвеєра. Розробка та розрахунок силової схеми перетворювального пристрою | 10 | 30.05.21 | |
| 4.Математична модель електромеханічного об'єкта. Розрахунок статичних та динамічних параметрів електроприводу | 10 | 10.05.21 | |

| | | | |
|--|-------|----------|--|
| 5.Проектування системи керування електроприводом конвеєра 5.1.Принцип роботи системи керування 5.2.Структурно-параметричний синтез системи керування 5.3.Розрахунок параметрів регуляторів і зворотних зв'язків | 5 | 17.05.21 | |
| 6.Дослідження статичних та динамічних режимів електромеханічної системи (шляхом моделювання). Аналіз результатів. | 10 | 24.05.21 | |
| 7.Спецчастина. Автоматизація технологічного процесу збирання автомобілів на конвеєрі | 5 | 31.05.21 | |
| 8.Розробка (опис) схеми керування електропривода | 5 | 31.06.21 | |
| Оформлення пояснювальної записки та графічної частини. Підготовка презентації | | 05.06.21 | |
| Разом | 60-90 | | |

Студент

Керівник проекту


 (підпис)

Іван ТИЩЕНКО

Віталій ТЕРЯЄВ

РЕФЕРАТ

Дипломний проект виконаний на 99 сторінках та вміщує 33 рисунків, 10 таблиць та 4 плакати А1.



Об'єктом дослідження в даному дипломному проекті є підвісний штовхаючий конвеєр.

Конвеєр – машина безперервного транспорту, призначена для переміщення сипучих, кускових або штучних вантажів.

Метою цього проекту є модернізація електроприводу підвісного штовхаючого конвеєра.

Розглянуто системи електроприводів штовхаючих підвісних конвеєрів та здійснено опис технологічного процесу складання автомобілів на штовхаючому конвеєрі. Сформульовані вимоги до електроприводу та системи керування. Розглянуто принцип роботи системи керування та проведений структурно-параметричний синтез системи керування.

ЕЛЕКТРОПРИВОД, КОНВЕЄР, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, АСИНХРОНИЙ ДВИГУН, ТЯГОВИЙ ОРГАН, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, СКАЛЯРНЕ КЕРУВАННЯ, РЕГУЛЯТОР СТРУМУ, РЕГУЛЯТОР ШВИДКОСТІ.

| | | | | | | | | |
|-----------|------|----------------|---|------|---|---|------|---------|
| | | | | | 141.7115.027.БР | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Електропривод і автоматизація підвісного штовхаючого конвеєра <i>Реферат</i> | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Розроб. | | Тищенко І. А. |  | | | | 7 | 99 |
| Перевір. | | Теряєв В. І. |  | | | | | |
| Н. Контр. | | | | | | НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського» Каф. АЕМС-ЕП Гр. ЕП -71 | | |
| Затверд. | | Пересада С. М. | | | | | | |

SUMMARY

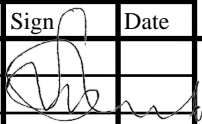
The diploma project contains 99 pages, 33 pictures, 10 tables and 4 posters A1.

The object of research in this diploma project is a suspended pusher conveyor. Conveyor - a machine of continuous transport, designed to move bulk, lump or piece cargo.

The purpose of this project is to modernize the electric drive of the suspended push conveyor.

The systems of electric drives of pushing suspended conveyors are considered and the description of technological process of assembly of cars on the pushing conveyor is carried out. The requirements for the electric drive and control system are formulated. The principle of operation of the control system is considered and the structural-parametric synthesis of the control system is carried out.

ELECTRIC DRIVE, CONVEYOR, FREQUENCY CONVERTER,
ASYNCHRONOUS MOTOR, TRACTION AUTHORITY, AUTOMATIC
CONTROL SYSTEM, SCALARERER CONTROLLER, CURRENT REGULATOR,
SPEED REGULATOR,

| | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|-----------------|---|------|---|----|---|------|-------|--|
| | | | | | 141.7115.027.BW | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | Letter | № of doc. | Sign | Date | | | | | | |
| Devel. | | Tyshchenko I.A. |  | | Electric drive and automation of the suspended pusher conveyor <i>Summary</i> | L. | | Page | Pages | |
| Checked | | Teriaev V.I. | | | | | | 7 | 108 | |
| | | | | | | | NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», FEA | | | |
| N. Contr. | | | | | | | | | | |
| Approved | | S. Peresada | | | | | | | | |

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 11 |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ КОНВЕЄРІВ ДЛЯ СКЛАДАННЯ АВТОМОБІЛІВ | 12 |
| 1.1 Галузі використання та типові технічні рішення з автоматизації процесів складання автомобілів | 12 |
| 1.2 Системи електроприводів штовхаючих підвісних конвеєрів..... | 13 |
| 1.3 Опис технологічного процесу складання автомобілів на штовхаючому конвеєрі | 16 |
| 1.4 Формулювання вимог до електроприводу та системи керування електропривода підвісного штовхаючого конвеєра | 22 |
| Висновки до розділу 1 | 24 |
| 2 ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ШТОВХАЮЧОГО КОНВЕЄРА..... | 25 |
| 2.1 Розрахунок потрібного моменту та швидкості електродвигуна | 25 |
| 2.2 Перевірка вибору потужності електродвигуна..... | 31 |
| 2.3 Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна | 35 |
| Висновки з розділу 2..... | 36 |
| 3. ВИБІР СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ШТОВХАЮЧОГО КОНВЕЄРУ | 37 |
| 3.1 Розрахунок інвертора..... | 37 |
| 3.2 Розрахунок випрямляча..... | 41 |
| 3.3 Розрахунок параметрів охолоджувача | 44 |
| 3.4 Розрахунок фільтру..... | 46 |
| 3.5 Розрахунок снаббера..... | 48 |
| 3.6 Вибір перетворювача частоти..... | 49 |
| 3.7 Вибір контакторів та автоматів захисту | 51 |
| 3.8 Вибір джерел живлення..... | 53 |
| 3.9 Вибір кабелів | 54 |
| 3.10 Вибір клемних затискачів | 54 |
| 3.11 Обґрунтування вибору контролера..... | 54 |
| 3.12 Вибір і компонування шафи електроавтоматики | 55 |
| 3.13 Розрахунок каретки конвеєра | 56 |
| Висновки до розділу 3 | 57 |

| | |
|---|----|
| 4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ'ЄКТА. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ПАРМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ | 58 |
| 4.1 Розрахунок природних характеристик системи регульованого електроприводу | 58 |
| 4.2 Розрахунок втрат в асинхронному двигуні при роботі на штучних характеристиках | 67 |
| Висновки до розділу 4 | 68 |
| 5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ АВТОМОБІЛІВ НА КОНВЕЄРІ І ОПИС СХЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА..... | 69 |
| 5.1 Принцип роботи системи керування..... | 69 |
| 5.3 Розрахунок параметрів регуляторів і зворотних зв'язків | 73 |
| 5.3.1 Розрахунок передавальних коефіцієнтів | 73 |
| 5.3.2 Розрахунок регулятора струму | 74 |
| 5.3.3 Розрахунок регулятора швидкості | 79 |
| 5.4 Автоматизація технологічного процесу збирання автомобілів | 83 |
| Висновки до розділу 5 | 89 |
| 6.1 Модель електропривода конвеєра | 90 |
| 6.2 Дослідження динамічних процесів електропривода | 93 |
| Висновки до розділу 6 | 96 |
| ВИСНОВКИ..... | 97 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ | 98 |

ВСТУП

У теперішній час на підприємствах України дуже гостро стоїть проблема автоматизації та модернізації виробництва.

Однією з головних задач є зниження використання ручної праці при більш високих темпах виробництва продукції. А це, в свою чергу, вимагає збільшення якості виробленої продукції, оновлення застарілого парку верстатів й автоматизації виробничих ліній.

У даному проекті охоплений широкий спектр заходів по модернізації існуючого електроприводу підвісного штовхаючого конвейєра (ПШК), що дозволяє одержати наступні переваги:

- автоматичний пуск системи конвейєрів (загальний і окремий);
- оптимізація збору та логічної обробки сигналів пристроїв автоматики;
- оптимізація контролю за роботою конвейєрів;
- блокування конвейєрів при виникненні аварійних ситуацій;
- підвищення надійності роботи механізмів;
- зменшення впливу людського чинника в даному виробництві.

В Україні існує не багато підприємств, які володіють повним циклом виробництва легкових автомобілів, які включають штампування, зварювання, фарбування, обладнання кузова і збирання автомобілів. На цих заводах створюються і постійно удосконалюється якісно нове сучасне високотехнологічне виробництво, яке відповідає вимогам міжнародного стандарту і здійснює значний внесок у розвиток державної економіки.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД В ОБЛАСТІ КОНВЕЄРІВ ДЛЯ СКЛАДАННЯ АВТОМОБІЛІВ

1.1 Галузі використання та типові технічні рішення з автоматизації процесів складання автомобілів

Підвісні конвеєри призначаються для транспортування штучних вантажів (іноді насипних вантажів в тарі) по замкнутому контуру просторової або одноплосинної, наприклад горизонтальної, траси.

Залежно від типу тягового елемента підвісні конвеєри діляться на ланцюгові (найбільш поширені) і канатні. За способом переміщення вантажів розрізняють підвісні конвеєри вантажопідйомні (рис. 1.1, а), вантажоштовхаючі (рис. 1.1, б), вантажоведучі (рис. 1.1, в).

Ланцюг 5 пов'язаний з каретками 3, які мають ходові катки, які переміщаються по тяговим підвісним шляхам 4. Вони зазвичай прикріплені до частин будівлі. Ланцюг приводиться в рух за допомогою зірочки або гусеничного приводу.

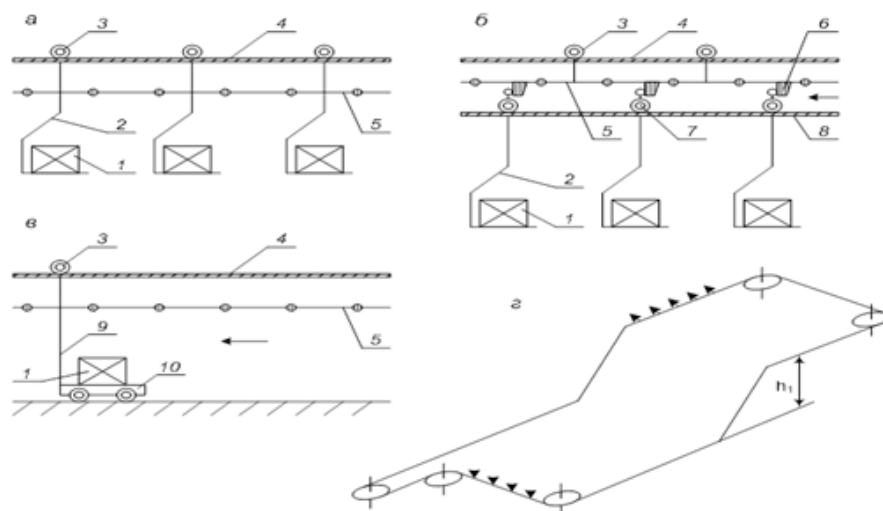


Рисунок. 1.1 – Схема підвісних конвеєрів: а – вантажопідйомні; б – вантажоштовхаючі; в – вантажоведучі; г – схема траси просторового підвісного конвеєра; 1 – вантаж; 2 – підвіска; 3 – каретка; 4 – тяговий підвісний шлях; 5 – ланцюг; 6 – кулачок; 7 – візок; 8 – вантажний підвісний шлях; 9 – штанга; 10 – візок для підлоги

У вантажопідйомних конвеєрів каретки з'єднані з підвісками 2, на яких встановлені вантажі 1. У штовхають конвеєрів ланцюги 5, що переміщаються по тяговим шляхам 4, виконані з кулачками 6, які штовхають підвіски 2 з візками каретками) 7, що переміщаються на вантажному підвісному шляху 8. Каретки 3 вантажоведучіх (вантажопідйомних) конвеєрів з'єднані зі штангами 9 підлогових візків 10 з вантажами.

На рис. 1.1, з зображена схема просторового підвісного конвеєра, траса якого розбита на окремі характерні ділянки. Для повороту направляючого підвісного шляху в горизонтальній площині використовуються спеціальні поворотні пристрої у вигляді зірочок, блоків, роликів батарей і напрямних шляхів. Повороти у вертикальній площині здійснюються вертикальними плавними перегинами направляючого шляху. Первинне натягнення тягового органу створюється натяжним пристроєм, зазвичай вантажним. Найбільше застосування знайшли вантажопідйомні конвеєри.

Сучасні підвісні конвеєри мають досить широкий діапазон параметрів: вага вантажів, що транспортуються – від частки кілограма до 2,5 т, довжина вантажів – від декількох сантиметрів до 6 ... 12 м, швидкість руху вантажів приблизно від 0,1 до 30 м/хв; конвеєри з підлоговими візками мають швидкість до 45 м/хв. Довжина конвеєрів доходить до 500 ... 600 м при однодвигунному приводі і до 2...3 км при багатодвигунному приводі.

1.2 Системи електроприводів штовхаючих підвісних конвеєрів

В електроприводах стрічкових конвеєрів довжиною до 3000 м і потужністю до 100 кВт, як правило, використовуються нерегульовані асинхронні двигуни. Перевагами таких електроприводів є простота і відносно низька вартість, недоліками - підвищений пусковий момент і, отже, можливість появи великих натягів і пробуксовки стрічки.

Набули поширення і асинхронні електроприводи з муфтами ковзання (гідромуфти, електромагнітні муфти). Такі системи забезпечують рівномірний

розподіл навантаження між двигунами в багатодвигунних електроприводах і плавний пуск конвеєра. У зарубіжній практиці застосовується дводвигуновий електропривод, в якому, крім головного двигуна, встановлюється і допоміжний меншої потужності, який забезпечує плавний розгін конвеєрної стрічки зі зменшеним прискоренням. Потужність електроприводу з короткозамкненим асинхронним двигуном (далі АД) може досягати 200 кВт.

Для більш потужних електроприводів стрічкових конвеєрів найбільшого поширення набули АД з фазним ротором. У таких приводах можна забезпечити однакову жорсткість характеристик, що вкрай важливо для конвеєрних електроприводів.

У разі, якщо характеристики двигунів неоднакові, кожна машина може створювати тягове зусилля, яке відрізняється від розрахункового. Розглянемо механічні характеристики трьох двигунів однакової потужності, що мають однакові параметри (рис. 1.2, а), і характеристики двигунів, що мають різні параметри (див. рис. 1.2, б). Зусилля, які створюють двигуни, знаходяться побудовою сумарною характеристики 4. Так як ротори всіх двигунів конвеєра жорстко пов'язані тяговим органом, то їх швидкість відповідає швидкості руху конвеєра, а сумарне зусилля дорівнює $F_H - F_0$. Тягове зусилля кожного двигуна легко розрахувати, провівши горизонтальну пряму, відповідну номінальній швидкості, що перетинає характеристики 1, 2, 3 і 4.

На рис. 1.2, крім механічних характеристик двигунів, приведені діаграми тягових зусиль. У тяговому органі при різних характеристиках двигунів може створюватися додатковий натяг, обумовлений різницею тягових зусиль, що розвиваються двигунами конвеєра.

При виборі двигунів приводних станцій конвеєра слід перевіряти їх характеристики і по можливості домагатися збігу. Тому доцільно застосовувати АД з фазним ротором, де відповідність характеристик може бути отримано введенням додаткових опорів в роторний ланцюг.

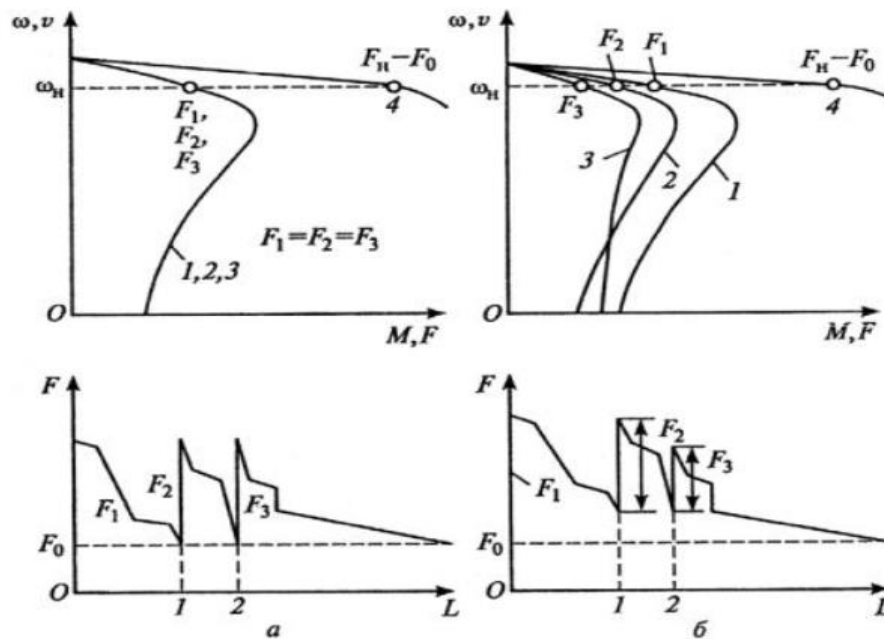


Рисунок 1.2 – Графіки розподілу навантаження в тяговому органі ланцюгового конвеєра у двигунів: а - з однаковими характеристиками; б - з різними характеристиками

На рис. 1.3 приведені механічні характеристики дводвигунного електроприводу конвеєра. Характеристики 1 і 2 є природними, характеристики 1' і 2' отримані введенням в ланцюг ротора додаткового опору.

Сумарний момент і тягове зусилля, що розвивається двигунами, будуть однаковими як при жорстких (1, 2), так і при м'яких (1', 2') характеристиках. Однак навантаження між двигунами при м'яких характеристиках розподіляється більш сприятливо. Таким чином, при включенні резисторів в роторні ланцюга АД забезпечується плавний пуск конвеєра, а у випадках застосування багатодвигунного електроприводу - рівномірний розподіл навантаження між двигунами.

Для конвеєрів у багатьох випадках слід використовувати регульовані електроприводи, перспективними з яких є системи з асинхронними двигунами і частотним керуванням, асинхронні вентильні каскади, електроприводи постійного струму з тиристорними перетворювачами. Застосування лінійних двигунів дозволяє ліквідувати складні і металоемкие редукторні механічні

передачі і створити з використанням безконтактної технології та безредукторні електроприводи.

Розглянемо варіант застосування асинхронного лінійного електроприводу.

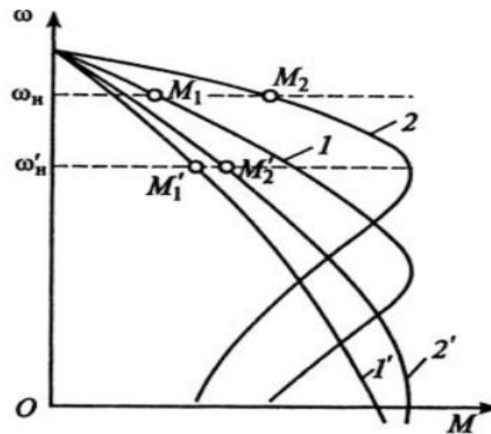


Рисунок 1.3 – Графіки розподілу навантаження між двигунами конвеєрів при різній жорсткості їх характеристик

1.3 Опис технологічного процесу складання автомобілів на штовхаючому конвеєрі

Система підвісного штовхаючого конвеєру (далі ПШК) (рисунок 1.2, а) використовується в цеху складання для переміщення кузовів і двигунів з певною швидкістю. При складанні кузова надходять в складальний цех з цеху фарбування кузовів (далі ЦФК), а двигуни зі складу.

На початку, під час надходження кузовів з ЦФК, відбувається їх ідентифікація. В залежності від моделі кузова він потрапляє на відповідний йому конвеєр. У цеху відбувається складання машин, їх обробка, на кузова встановлюються двигун, підвіска і решта комплектуючих.

Підвісний штовхаючий конвеєр має замкнутий тяговий ланцюг із закріпленими на ньому каретками (рисунок 1.2, б), рухомими по верхньому ходовому шляху. Ланцюг з каретками приводиться в рух приводом. У ланцюзі між каретками вбудовані штовхачі, які переміщують візки з підвісками для транспортування вантажу по вантажному шляху, розташованому паралельно тяговому шляху у вертикальній площині. Тягові і вантажні шляхи з'єднуються

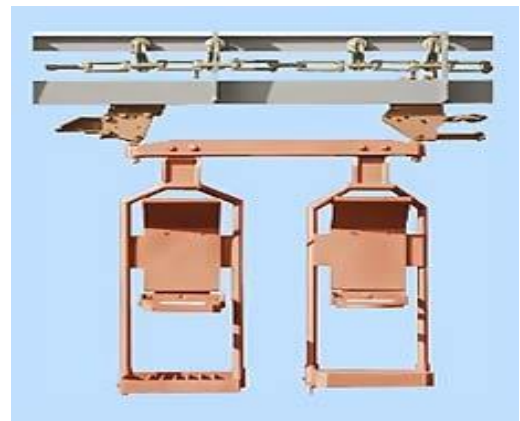
між собою хомутами і підвішуються до ферм будівлі або до окремих металоконструкцій.

Оскільки тяговий ланцюг не прикріплений до візків та вони мають різні шляхи, то це дозволяє вільно зупиняти і приводити в рух візок за допомогою автоматично керованих остановів. Вантажні шляхи можуть мати відгалуження, які називаються стрілками, в будь-який бік в горизонтальній площині для виведення візків на приводний контур іншого конвеєра.

Передача візків з одного рівня на іншій здійснюється або за допомогою вертикальних поворотів (рисунок 1.2, в), або опускних секцій, що представляють собою відрізок вантажного шляху конвеєра переміщуваний вертикально вгору або вниз підйомним механізмом.



а)



б)



в)

Рисунок 1.4 – Підвісний штовхаючий конвеєр: а – загальний вид ПШК; б – тяговий ланцюг ПШК з каретками; в – перехід з одного рівня ПШК на інший

Застосовуючи штовхаючий конвеєр, можна об'єднати в одну повністю автоматизовану систему окремі, різні по ритму, конвеєри, які за заданою програмою будуть транспортувати візки з вантажем до місця розвантаження, а також виконувати технологічні операції на самих конвеєрах.

На різних ділянках цеху швидкість руху конвеєрів повинна бути різною. Це обумовлено технологічним процесом, оскільки різні операції вимагають різних витрат часу на їх проведення. При виникненні аварій повинна бути передбачена можливість зупинки конвеєра.

Привод ПШК призначений для приведення в рух тягового ланцюга підвісного штовхаючого конвеєра, що працює в приміщенні з невибухонебезпечним навколишнім середовищем, що не містить пилю, агресивних газів і пари в концентраціях, що руйнують метал, мастило вузлів і деталі конвеєра з температурою від -5°C до $+40^{\circ}\text{C}$ при відносній вологості до 90 %.

Привод ПШК складається з наступних конструктивних елементів та пристроїв:

- нерухомої рами;
- рухомої рами;
- фасонних катків;
- катків підшипників;
- ланцюга приводу;
- електродвигуна;
- клинопасової передачі;
- редуктора;
- зірочки редуктора;
- вузла бруса;
- кронштейна;
- натяжного пристрою;
- регулювального болта;

– кінцевого вимикача.

Рухома рама приводу, спирається направляючими на фасонні катки і катки-підшипники нерухомої рами. Ланцюг приводу, який є приводним органом тягового ланцюга конвеєра, отримує рух від електродвигуна через клинопасову передачу, редуктор і зірочку редуктора.

Вузол бруса і підшипники-ролики кронштейна забезпечують прямолінійний рух ланцюга приводу і тягового ланцюга, і не допускають їх віджима один від одного.

Подовжнє натяжіння ланцюга приводу проводиться вузлом натяжного пристрою за допомогою закручування гайки на регульовальному болті. Кінцевий вимикач відключає привод при перевищенні тягового зусилля, заданого в технічних характеристиках.

На сьогоднішній день для керування електродвигуном змінного струму використовується комплектний тиристорний електропривод з динамічним гальмуванням.

Технічні параметри електроприводу ЕКТЗД приведені в таблиці 1.1.

де U - діюче значення вихідної напруги, В;

f - вихідна частота, Гц.

Даний привод ПШК налаштований на роботу з асинхронним двигуном серії 4А, потужністю 10-15 кВт.

Унаслідок наявності гармонік струму в ланцюзі навантаження, відмінних від основної, виникають підвищені додаткові втрати в двигуні, які необхідно враховувати зменшенням потужності на валу на 7 - 10%.

Таблиця 1.1 – Технічні параметри електропривода

| Параметри, одиниці вимірювання | Значення |
|--|-------------|
| Номінальна напруга, В | 380 |
| Кількість фаз | 3 |
| Частота, Гц | 50 |
| Номінальна вихідна потужність, кВА | 16,5 |
| Споживана потужність, кВА | 18,3 |
| Коефіцієнт потужності | $\geq 0,88$ |
| Діапазон регулювання частоти, Гц | 1÷50 |
| Відхилення частоти від номінального значення % | $\pm 0,5$ |
| Відхилення напруги (діючого значення) від номінального значення % | $\pm 2,5$ |
| Діапазон регулювання напруги (діюче значення), В | 0÷380 |
| Допустиме перевантаження по струму для асинхронних двигунів, $I/I_{\text{ном}}$ | 1,5 |
| Тривалість допустимого навантаження, с | 120 |
| Коефіцієнт зрушення навантаження (при роботі з номінальним струмом навантаження) | 0,15÷0,90 |
| Миттєве значення струму навантаження при номінальній вхідній напрузі, А | ≤ 50 |
| Миттєве значення струму навантаження при вхідній напрузі нижче номінального, А | ≤ 45 |
| ККД % | ≥ 92 |

Також не рекомендується робота електроприводу з частими циклами «розгін - гальмування» тривалістю менше 1 хвилини, у зв'язку зі скороченням терміну служби електролітичних конденсаторів силового фільтру з-за появи на них підвищеної амплітуди пульсації напруги. Для зменшення величини перешкод проводяться такі заходи:

- використання екранованого кабелю;
- підбір оптимального перетину провідника (не меншого 0,5 мм²);
- реалізація електричних ланцюгів попарно перевитими жилами (проводами);

- граничне зменшення відстані між шафою і зовнішніми пристроями, що не завжди зручно реалізувати в реальних умовах.

Особливістю сучасних умов виробництва є поширеність на підприємствах старого устаткування, гарантійний термін якого давно закінчився, напружений темп його роботи, неможливість забезпечення необхідної точності вихідних параметрів. При цьому особливо актуальним стає завдання заміни застарілого устаткування на сучасні види електроприводу. Старе устаткування має аналогові системи керування. Всі ведучі електротехнічні корпорації випускають регульовані електроприводи комплектно з комп'ютерними засобами автоматизації у вигляді гнучких програмованих систем, адаптованих до широкої області їх використання. Багато операцій в таких системах виконуються засобами керування без участі оператора. Встановлений же в складальному цеху електропривод ЕКТЗД на сьогоднішній день морально і фізично застарілий. Відсутність запчастин, всієї необхідної документації і технічної підтримки, а також сам принцип побудови схеми керування (велика кількість складних плат, підвищені додаткові втрати і ін.) визначають низьку ремонтпридатність подібної техніки і неминучі тривалі простої устаткування при аваріях.

Особливостями роботи ПШК є часті пуски, високий необхідний темп розгону і гальмування, великий діапазон регулювання швидкості. Це висуває високі вимоги до перевантажувальної здатності приводу і пристроїв, що поглинають енергію гальмування. Нестабільність швидкості руху ланцюга конвеєра не тільки викликає погіршення якості процесу складання машин, але і може привести до механічних поломок устаткування. Стабільність швидкості конвеєра визначається точністю, з якою привод здатний підтримувати задану швидкість обертання двигуна.

До цілей модернізації можна віднести :

- підвищення надійності устаткування;
- підвищення точності регулювання частоти обертання асинхронного електродвигуна;

- підвищення якості виконуваних робіт за рахунок точнішої стабілізації швидкості руху ланцюга конвеєра і поява можливості безпосереднього регулювання цієї швидкості.

Перспективною є модернізація наявного устаткування шляхом впровадження асинхронних частотно-регульованих електроприводів Simovert, які мають повністю цифрову систему керування, відрізняються підвищеною надійністю, великою перевантажувальною здатністю і розвиненою системою аварійного захисту. Модернізація сприятиме узгодженню роботи технологічного устаткування з існуючим пультом оператора, технологічними датчиками релейною автоматикою

Дипломна робота пов'язана з модернізацією електроприводу підвісного штовхаючого конвеєра, зокрема із заміною ЕКТЗД на сучасний електропривод.

1.4 Формулювання вимог до електроприводу та системи керування електропривода підвісного штовхаючого конвеєра

Система керування призначена для роботи у складі асинхронного електроприводу.

Система керування повинна виконуватись на основі мікроконтролерів та забезпечувати наступні режими роботи електроприводу:

- плавний пуск та гальмування;
- рух з усталеною швидкістю зі статичною похибкою не більше 5%.

Система керування повинна формувати наступні характеристики електроприводу:

- постійної сили (моменту);
- постійної потужності;
- постійної швидкості (частоти обертання).

Система керування повинна забезпечити діапазон регулювання:

- швидкості від нульової до 0,25 м/с;

Зв'язок між пультом керування, мікропроцесорною системою керування та системами керування інверторами напруги повинен здійснюватись цифровими каналами зв'язку.

Система керування повинна забезпечувати:

- високу надійність роботи електроприводу;
- діагностику роботи електроприводу;
- відображення на пульті керування основних параметрів електроприводу та систем його захисту.

Система керування має виконувати наступні функції:

- пуск системи конвеєрів (загальний і роздільний);
- видачу керуючих сигналів на виконавчі елементи відповідно до заданого алгоритму;
- адресацію вантажів;
- оптимізації збору і логічної обробки сигналів пристроїв автоматики;
- контроль роботи конвеєрів.
- блокування конвеєрів при виникненні аварійних ситуацій;
- виведення інформації про стан системи.

Таблиця 1.2 – Загальні технічні вимоги до модернізованого приводу

| Параметри, одиниці вимірювання | Значення |
|--|----------|
| Номінальна напруга, В | 380 |
| Кількість фаз | 3 |
| Номінальна вихідна потужність, кВА | 20 |
| Діапазон регулювання частоти, Гц | 1÷50 |
| Діапазон регулювання напруги (діюче значення), В | 0÷380 |
| Точність регулювання (максимальне відхилення) | 5% |

Висновки до розділу 1

1. За результатами аналізу галузей використання та типових технічних рішень з автоматизації процесів складання автомобілів було обрано найбільш перспективний для модернізації вид штовхаючого конвеєра;
2. Розглянуті існуючі системи електроприводів штовхаючих підвісних конвеєрів.
3. Здійснено опис технологічного процесу складання автомобілів на штовхаючому конвеєрі.
4. Сформульовані вимоги до електроприводу та системи керування.
5. Отримані результати дають змогу здійснити проектування системи автоматизованого електроприводу підвісного штовхаючого конвеєра.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІБНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ШТОВХАЮЧОГО КОНВЕЄРА

2.1 Розрахунок потрібного моменту та швидкості електродвигуна

Потужність на приводному барабані (зірочці) конвеєра визначається за формулою:

$$N_0 = P_0 \cdot v, \quad (2.1)$$

де P_0 - тягове зусилля без урахування втрат на приводному барабані, $P_0=40000$ Н; v - швидкість руху ланцюга, $v=0,25$ м/с.

Підставивши значення, отримаємо:

$$N_0 = 40000 \cdot 0,25 = 10000 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

Установочна потужність приводного двигуна:

$$N = \frac{k_3 \cdot N_0}{\eta_0}, \quad (2.3)$$

де k_3 - коефіцієнт запасу, $k_3=(1,1 - 1,35)=1,35$; η_0 – ККД передаточного механізму від двигуна до приводного органу з урахуванням ККД приводного барабана (зірочки), визначається формулою:

$$\eta_0 = \eta_6 \cdot \eta_p \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{доп}}, \quad (2.4)$$

де η_6 – ККД приводного органу (зірочка, барабан, шків), $\eta_6=0,95$;

η_p - ККД редуктора (зубчатої передачі), $\eta_p=0.94$;

η_m - ККД муфти, $\eta_m=0,97$;

$\eta_{\text{доп}}$ - ККД додаткових елементів (ланцюгова передача, вал і т.п.),

$$\eta_{\text{доп}} = 0,9.$$

Тоді, підставивши значення, отримаємо:

$$\eta_0 = 0,95 \cdot 0,94 \cdot 0,97 \cdot 0,9 = 0,77. \quad (2.5)$$

З урахуванням (2.4) -(2.5), потужність приводного двигуна :

$$N = \frac{1,35 \cdot 10000}{0,7795} = 17318 \text{ Вт.} \quad (2.6)$$

Як видно з розрахунків, виконується умова:

$$P_{\text{ном}} \geq N, \quad (2.7)$$

Обираємо двигун фірми АВВ, але у зв'язку з відсутністю у виробника обмоткових даних електродвигуна АВВ М2АА 180 МLB4 [1], для подальших розрахунків і моделювання використовуємо параметри найближчого аналога із серії 4А, двигун 4А180S4У3[2]:

$$22000 \text{ Вт} \geq 17318 \text{ Вт.} \quad (2.8)$$

Технічні характеристики двигуна приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Технічні характеристики двигуна 4A180S4Y3

| Параметри, одиниці вимірювання | Значення |
|--|----------|
| Номінальна потужність: $P_{\text{ном}}$, кВт | 22 |
| Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, В | 380 |
| Частота мережі: $f_{\text{ном}}$, Гц | 50 |
| Номінальне ковзання: $S_{\text{ном}}$, % | 2 |
| Кратність пускового струму до номінального: $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$, в.о. | 7,5 |
| Кратність пускового моменту до номінального: $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$, в.о. | 2,2 |
| Кратність максимального моменту до номінального: $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$, | 2,7 |
| Кратність мінімального моменту до номінального: $M_{\text{min}}/M_{\text{ном}}$, | 1,3 |
| ККД: η , % | 90 |
| Коефіцієнт потужності: $\cos \varphi$, | 0,89 |

Розрахуємо параметри двигуна. Частоту обертання ротора знаходимо із співвідношення:

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - S_{\text{ном}}), \quad (2.9)$$

де n_1 - частота обертання статора, $n_1=1500$ об/хв.

Підставивши значення n_1 і $S_{\text{ном}}$, отримаємо:

$$n_2 = 1500 \cdot (1 - 0.02) = 1470 \text{ об/хв.} \quad (2.10)$$

Знайдемо кутові швидкості обертання статора і ротора:

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60} = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад/с}, \quad (2.11)$$

$$\omega_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_2}{60} = \frac{2\pi \cdot 1470}{60} = 153.93 \text{ рад/с.} \quad (2.12)$$

Потужність статора асинхронного двигуна дорівнює:

$$P_1 = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta} = \frac{22 \cdot 10^3}{0,9} = 24,44 \text{ кВт.} \quad (2.13)$$

Корисний момент на валу двигуна:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_2} = \frac{22 \cdot 10^3}{153,93} = 142,92 \text{ Н·м.} \quad (2.14)$$

Струм, що протікає в обмотці ротора, знайдемо з виразу активної електричної потужності статора:

$$P_1 = m_1 \cdot I_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi, \quad (2.15)$$

де m_1 - кількість фаз обмотки статора, $m_1=3$.

Тоді струм I_1 , буде дорівнювати:

$$I_1 = \frac{P_1}{m_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi} = \frac{24,44 \cdot 10^3}{3 \cdot 380 \cdot 0,89} = 24,08 \text{ А.} \quad (2.16)$$

Критичне ковзання двигуна визначається:

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}} \cdot \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 + 1} \right), \quad (2.17)$$

де $\lambda = M_{\text{мах}}/M_{\text{ном}}$.

Тоді визначимо критичне ковзання:

$$S_{kp} = 0,02 \cdot \left(2,7 + \sqrt{2,7^2 + 1} \right) = 0,112. \quad (2.18)$$

Знайдемо значення максимального, пускового та мінімального моментів асинхронного двигуна:

$$M_{max} = \left(\frac{M_{max}}{M_{ном}} \right) \cdot M_{ном} = 2,7 \cdot 142,92 = 385,88 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.19)$$

$$M_{пуск} = \left(\frac{M_{пуск}}{M_{ном}} \right) \cdot M_{ном} = 2,2 \cdot 142,92 = 314,42 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (2.20)$$

$$M_{min} = \left(\frac{M_{min}}{M_{ном}} \right) \cdot M_{ном} = 1,3 \cdot 142,92 = 185,79 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.21)$$

Електромагнітний момент на валу двигуна:

$$M_{ем} = M_{max} \cdot \frac{2}{\frac{S}{S_{kp}} + \frac{S_{kp}}{S}}, \quad (2.22)$$

Підставивши (2.18) і (2.19) у вираз (2.22), отримаємо:

$$M_{ем} = 385,88 \cdot \frac{2}{\frac{0,02}{0,112} + \frac{0,112}{0,02}} = 133,55 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.23)$$

Для вибраного двигуна підбираємо редуктор, відповідно до розрахункового передаточного числа:

$$i_0 = \frac{\omega_d}{\omega_{зв}}, \quad (2.24)$$

де ω_d - кутова швидкість валу двигуна, $\omega_d = 157 \text{ с}^{-1}$;

$$\omega_{зв} = \frac{2\pi \cdot v}{z \cdot t_{ц}} - \text{кутова швидкість зірочки, } \text{с}^{-1}. \quad (2.25)$$

У (2.25) v - швидкість руху ланцюга, $v = 0,17 \text{ м/с}$;

$t_{ц}$ - крок ланцюга, $t_{ц} = 0,16 \text{ м}$;

z - число зубів зірочки, яке дорівнює:

$$z = \frac{\pi \cdot D_0}{t_{ц}}, \quad (2.26)$$

де D_0 - діаметр барабана, $D_0 = 0,125 \text{ м}$.

З урахуванням вищенаведеного передаточне число редуктора обчислюється за формулою:

$$i_0 = \frac{D_{зв} \cdot \omega_d}{2 \cdot v} = \frac{0,125 \cdot 157}{2 \cdot 0,17} = 57,72. \quad (2.27)$$

Виходячи з розрахунків, підбираємо конічно-циліндричний редуктор типу СМВ633 [3] з передавальним числом $i_0 = 61,63$, $M = 250 \text{ Н} \cdot \text{м}$

2.2 Перевірка вибору потужності електродвигуна

В період пуску конвеєра двигуну доводиться окрім енергії подолання статичних опорів витрачати енергію на подолання сил інерції вантажу і деталей конвеєра. Таким чином в період пуску конвеєра електродвигун повинен розвивати момент:

$$M_{\text{п.расч}} = M_{\text{с}} + M'_{\text{д}} + M''_{\text{д}}, \quad (2.28)$$

де $M_{\text{с}}$ - момент подолання статичних сил конвеєра, Н·м;

$M'_{\text{д}}$ - динамічний момент для подолання сил інерції вантажу, робочого органу та частин конвеєра(без приводу), що обертаються, Н·м;

$M''_{\text{д}}$ - динамічний момент для подолання сил інерції деталей приводу конвеєра, Н·м.

Для визначення $M_{\text{с}}$ спочатку знайдемо обертовий момент на приводному барабані (зірочці):

$$M_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{ст.п}} \cdot D_0}{2} \quad (2.29)$$

де $P_{\text{ст.п}}$ - статичне тягове зусилля пускового періоду, Н.

Тягове зусилля при пуску вище, ніж при сталому русі, внаслідок того, що опори тертя у спокої приблизно в 1,5 рази перевищують опори тертя в русі. Пускове тягове зусилля визначається за формулою:

$$P_{\text{ст.п}} = q_{\text{г}} \cdot H + \omega_{\text{ст}} \cdot (P - q_{\text{г}} \cdot H), \quad (2.30)$$

де $q_{\text{г}}$ - лінійне навантаження конвеєра, $q_{\text{г}}=857$ Н/м;

H - висота підйому вантажу, $H=2,5$ м;

$\omega_{\text{ст}}$ - коефіцієнт статичних опорів тертя, $\omega_{\text{ст}}=1,5$;

P - тягове зусилля при сталому русі, $P=26460$ Н.

З урахуванням вищевикладеного, пускове тягове буде дорівнювати:

$$P_{\text{ст.п}} = 857 \cdot 2,5 + 1,5 \cdot (26460 - 857 \cdot 2,5) = 38618,75 \text{ Н.} \quad (2.31)$$

Обертний момент на приводному барабані (зірочці):

$$M_{\text{пр}} = \frac{38618,75 \cdot 0,125}{2} = 2413,67 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (2.32)$$

Приведену масу вантажу і рухомих частин конвеєра розрахуємо по формулі:

$$G_y = k_y \cdot (m_0 + k_G \cdot m_{\text{вр}} + m_{\text{г}}), \quad (2.33)$$

де k_y - коефіцієнт, що враховує пружне подовження тягового органу, $k_y = (0,85-0,95)=0,95$;

k_G - коефіцієнт, що враховує, що окружна швидкість різних частин мас, що обертаються, менше ніж швидкість тягового органу, $k_G = (0,5-0,9)=0,9$;

m_0 - маса ходової частини конвеєра, що включає масу візків та підвісок конвеєра, $m_0=5490$ кг;

$m_{\text{вр}}$ - маса частин конвеєра, що обертаються, $m_{\text{вр}}=370$ кг;

$m_{\text{г}}$ - маса вантажу на конвеєрі, кг. Маса вантажу розраховується за формулою:

$$m_{\text{г}} = m_1 \cdot n, \quad (2.34)$$

де m_1 - маса одного кузова, $m_1=370$ кг;

n - кількість кузовів на конвеєрі, $n=14$ шт.

$$m_T = 370 \cdot 14 = 5180 \text{ кг.} \quad (2.35)$$

Підставивши значення мас і коефіцієнтів в (2.33) знайдемо приведену масу вантажу і рухомих частин конвеєра:

$$G_s = 0,95 \cdot (5490 + 0,9 \cdot 370 + 5180) = 10452,85 \text{ кг.} \quad (2.36)$$

Момент на валу двигуна для подолання $M_{пр}$:

$$M_c = \frac{P_0 \cdot D_0}{2 \cdot i_0 \cdot \eta_0} = \frac{26460 \cdot 0.125}{2 \cdot 61.63 \cdot 0.875} = 30,66 \text{ Н·м.} \quad (2.37)$$

Прискорення вантажу, робочого органу і частин конвеєра, що обертаються, створює, за принципом Деламбера, додаткове зусилля на механізм:

$$P_D = \frac{G_{\Sigma} \cdot v_{\max}}{t_{\pi}}, \quad (2.38)$$

де t_{π} - тривалість пускового періоду, $t_{\pi}=2,0$ с;

$v_{d\max}$ - максимальна швидкість руху ланцюга конвеєра, $v_{d\max}=1,7$ м/с.

Момент на валу двигуна для подолання P_D при $v = \frac{D_0 \cdot \omega_d}{(2 \cdot i_0)}$ дорівнює:

$$M'_D = \frac{P_D \cdot D_0}{2 \cdot i_0 \cdot \eta} = \frac{G_{\Sigma} \cdot v_{d\max} \cdot D_0}{2 \cdot i_0 \cdot t_{\pi} \cdot \eta_0}. \quad (2.39)$$

З урахуванням (2.33) - (2.39) розрахуємо момент M'_d :

$$M'_d = \frac{10452,85 \cdot 1,7 \cdot 0,125}{2 \cdot 61,63 \cdot 2 \cdot 0,875} = 10,29 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.40)$$

Динамічний момент для прискорення частин приводу конвеєра, що обертаються, Н·м:

$$M''_d = \frac{c_i \cdot (G_i \cdot D_i)^2 \cdot \omega_d}{4 \cdot t_n}, \quad (2.41)$$

де c_i - коефіцієнт, що враховує прискорення деталей передаточного механізму, які обертаються з кутовою швидкістю менше ω_d , $c_i = 1,1 \div 1,15 = 1,15$;

$(G_i \cdot D_i)$ - маховий момент на валу двигуна, що враховує маси ротора, муфт і гальмівного шківів, $(G_i \cdot D_i) = 1,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

$$M''_d = \frac{1,15 \cdot (1,5)^2 \cdot 157}{4 \cdot 2} = 36,11 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.42)$$

Підставивши значення в (2.28), знайдемо момент, що розвивається електродвигуном в період пуску конвеєра:

$$M_{п.розр} = 30,66 + 10,29 + 36,11 = 77,06 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.43)$$

Дійсний максимальний пусковий момент $M_{п.мах.розр}$ більше середнього теоретичного з-за непостійності прискорення та приблизно рівний :

$$M_{п.мах.розр} = 1,33 \cdot M_{п.розр} = 1,33 \cdot 77,06 = 102,49 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.44)$$

Оскільки виконується умова за пусковим моментом:

$$M_{п.мах.розр} \leq M_{пуск}; \quad (2.45)$$

$$102,49 \leq 342,58, \quad (2.46)$$

то на основі вищевикладеного, можна зробити висновок, що встановлений двигун задовольняє всім вимогам виробництва і не вимагає заміни на новий.

2.3 Розрахунок параметрів схеми заміщення двигуна

Для побудови механічної характеристики необхідні наступні значення: пусковий момент, максимальний момент; ковзання, криничне ковзання, синхронна частота обертання, номінальна частота обертання.

Число пар полюсів:

$$P = \frac{60f}{n} \quad (2.47)$$

$$P = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2 \quad (2.48)$$

Знаходимо кутову частоту обертання, рад/с

$$\omega = \frac{2\pi f}{P}; \quad (2.48)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с} \quad (2.49)$$

Пусковий момент, Н м (за довідником $M_{пуск}/M_{ном} = 2$)

$$M_{пуск.} = M_{ном} \cdot 2; \quad (2.50)$$

$$M_{пуск.} = 142,92 \cdot 2 = 285,84 \quad (2.51)$$

Максимальний момент, Н·м ($M_{\max}/M_{\text{ном}} = 2,7$)

$$M_{\text{макс}} = 2,7 \cdot M_{\text{ном}} = 2,7 \cdot 142,92 = 285,84 \quad (2.52)$$

Визначаємо критичне ковзання, в.о.

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{ном}} \left(\frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{ном}}} + \sqrt{\left(\frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{ном}}} \right)^2 - 1} \right) \quad (2.53)$$

$$S_{\text{кр}} = 0,02 \left(\frac{285,84}{142,92} + \sqrt{\left(\frac{285,84}{142,92} \right)^2 - 1} \right) = 0,075 \quad (2.54)$$

Висновки з розділу 2

1. Здійснено розрахунок потрібного моменту та швидкості електродвигуна. В результаті чого вибрано двигун 4A180S4Y3 з потужністю 22 кВт, моментом 142,92 Н·м, синхронною частотою обертання 1500 об/хв.

2. Виходячи з розрахунків, було обрано конічно-циліндричний редуктор типу СМВ633 з передавальним числом $i_0=61.63$, $M = 250 \text{ Н} \cdot \text{м}$

3. Обґрунтовано вибір потужності електродвигуна з урахуванням забезпечення заданих статичних і динамічних режимів електроприводу.

4. Отримані результати дають можливість розрахувати параметри схеми заміщення електродвигуна з метою проведення синтезу і дослідження системи автоматичного керування.

3. ВИБІР СИЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ШТОВХАЮЧОГО КОНВЕЄРУ

Вибір силового електричного обладнання штовхаючого конвеєру буде використовуватись відповідно до силової схеми перетворювача на рис. 3.1

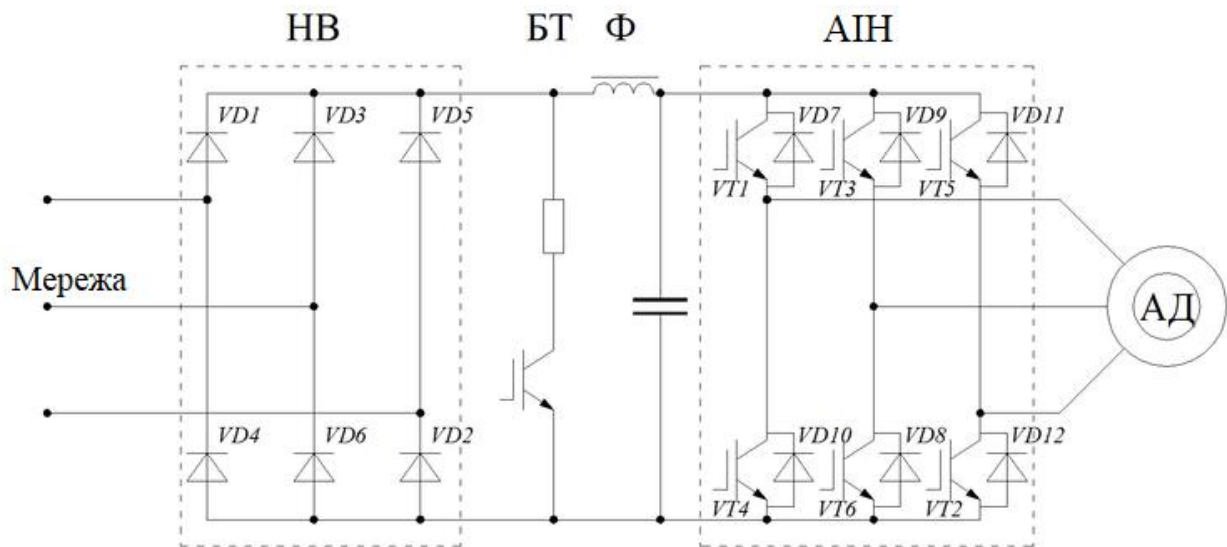


Рисунок 3.1 – Силовая схема перетворювача частоти

3.1 Розрахунок інвертора

Методика розрахунку [20] наведена для перетворювача частоти з автономним інвертором напруги, реалізованого із застосуванням гібридних модулів, що складаються з ключів IGBT і зворотних діодів FWD, змонтованих в одному корпусі на загальній тепловідводній пластині.

Максимальний струм через ключі інвертора визначається з виразу:

$$I_{c \max} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_{\text{ном}} \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} = \frac{22000 \cdot 1,2 \cdot 1,41 \cdot 1,1}{0,91 \cdot 0,87 \cdot 1,73 \cdot 380} = 78,815 \text{ A} \quad (3.1)$$

де $P_{\text{ном}}$ — номінальна потужність двигуна, Вт;

k_1 — коефіцієнт допустимого короткочасного перенавантаження по струму $[1,2 \div 1,5]$;

k_2 — коефіцієнт допустимої миттєвої пульсації струму $[1,1 \div 1,2]$;

$\eta_{\text{ном}}$ — номінальний ККД двигуна;

$U_{\text{л}}$ — лінійна напруга двигуна;

Напруга живлення інвертора від випрямляча:

$$U_d = k_{\text{с.н.}} \cdot U_{\text{л}} = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ В} \quad (3.2)$$

де $k_{\text{с.н.}}$ - коефіцієнт схеми для номінального навантаження

Зворотна напруга IGBT модуля:

Зворотна напруга IGBT модуля необхідно робити з запасом і з врахуванням максимального відхилення напруги в 15% від напруги живлення інвертора, тому:

$$U_{\text{обр.}} = k_z \cdot k_{\text{откл.}} \cdot U_d = 2 \cdot 1,15 \cdot 513 = 1180 \text{ В} \quad (3.3)$$

Вибір модуля:

Вибір IGBT здійснюється згідно з умовою:

$$\begin{aligned} I_c &\geq I_{\text{с max}}; \\ U_{\text{кэ}} &\geq U_{\text{обр.}} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Вибирається модуль FGH40T120SMD виробника Fairchild Semiconductor [4].

Характеристики модуля:

$U_{\text{кэ}} = 1200 \text{ В}$ - напруга колектор-емітер

$I_c = 80 \text{ A}$ - струм колектора

$U_{ce \text{ sat}} = 1,8 \text{ В}$ - пряме падіння IGBT в провідному стані

$t_{cOn} = 40 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ - час відкривання транзистора

$t_{cOff} = 475 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ - час закриття транзистора

$U_{cc} = 600 \text{ В}$ - комутаційна напруга, що дорівнює напрузі ланки постійного струму системи автономний інвертор напруги з широтно-імпульсною модуляцією (АІН-ШІМ)

$f_{sw} = 2500 \text{ Гц}$ - частота комутації ключів

$I_{rr} = 7,2 \text{ А}$ - амплітуда зворотного струму через діод

$t_{rr} = 65 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ - тривалість імпульсу зворотного струму

$U_e = 4,8 \text{ В}$ - пряме падіння напруги на діоді

$R_{th(JC)q} = 0,27 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ - термічний перехідний опір кристал-корпус для IGBT

$R_{th(JC)d} = 0,89 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ - термічний перехідний опір кристал-корпус для діоду

$R_{th(CF)} = 0,4 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ - термічний опір корпус-певерхня теплопровідній

пластині модуля в розрахунку на одну пару діод/транзистор

Максимальна амплітуда струму на вході інвертора:

$$I_{cp.} = \frac{I_{c \text{ max}}}{k_1} = \frac{78,815}{1,2} = 65,679 \text{ А} \quad (3.5)$$

Втрата IGBT в провідному стані:

$$P_{ss} = I_{cp.} \cdot U_{ce.sat} \left(\frac{1}{8} + \frac{D \cdot \cos \theta}{3 \cdot \pi} \right) = 65,679 \cdot 1,8 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95 \cdot 0,87}{3 \cdot 3,14} \right) = 25,145 \text{ Вт} \quad (3.6)$$

Где, D - шпаруватість; $\cos \theta \approx \cos \varphi$ - коефіцієнт потужності

Втрати IGBT при комутації:

$$P_{sw} = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(I_{cp.} \cdot U_{cc}) \cdot (t_{cOn} + t_{cOff}) \cdot f_{sw}}{2} =$$

$$= \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{(65,679 \cdot 600) \cdot (4 + 47,5) \cdot 10^{-8} \cdot 2500}{2} = 5,71 \text{ Вт} \quad (3.7)$$

Сумарні втрати:

$$P_Q = P_{sw} + P_{ss} = 25,145 + 5,71 = 30,855 \text{ Вт} \quad (3.8)$$

Втрати діоду в провідному стані:

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_e \cdot \left(\frac{D \cdot \cos \theta}{3 \cdot \pi} + \frac{1}{8} \right) = 4,207 \cdot 1,9 \cdot \left(\frac{0,95 \cdot 0,87}{3 \cdot 3,14} + \frac{1}{8} \right) = 1,7 \text{ Вт} \quad (3.9)$$

де, $I_{ep} \approx I_{cp.}$ - максимальна амплітуда струму через діод

Втрати при відновленні замикаючих властивостей:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} (I_{\pi} \cdot U_{cc} \cdot t_{\pi} \cdot f_{sw}) = \frac{1}{8} (7,2 + 600 + 0,65 \cdot 10^{-7} \cdot 2500) = 0,088 \text{ Вт} \quad (3.10)$$

Сумарні втрати діоду

$$P_D = P_{DR} + P_{DS} = 0,088 + 67,054 = 67,141 \text{ Вт}$$

$$P_T = P_D + P_Q = 67,141 + 30,855 = 97,996 \text{ Вт} \quad (3.11)$$

Тепловий розрахунок режиму кристалу IGBT.

$$T_{ja} = T_c + P_Q \cdot R_{th(JC)q} = 110 + 30,855 \cdot 0,89 = 118,331^\circ\text{C} \quad (3.12)$$

де, $T_c = 110^\circ\text{C}$ - температура теплопровідної пластини $[90 \div 110]$

$T_a = 50^\circ\text{C}$ - температура охолоджуючої пластини $[25 \div 50]$

Температура кристала зворотного діоду:

$$T_{jd} = T_c + P_D \cdot R_{thJCq} = 110 + 67,141 \cdot 0,89 = 169,756^\circ\text{C} \quad (3.13)$$

Перевірка теплового режиму роботи кристалів:

$$\begin{aligned} T_{ja} &< 175^\circ\text{C} \\ T_{jd} &< 175^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Тепловий режим роботи дотримується.

Максимально допустимий перехідний опір охолоджувач навколишнє середовище в розрахунку на інвертор:

$$R_{thFAi} = \frac{T_c - T_a}{P_T} - R_{thCF} = \frac{110 - 25}{97,996} - 0,4 = 0,467 \frac{^\circ\text{C}}{\text{Вт}} \quad (3.15)$$

3.2 Розрахунок випрямляча

Максимальне значення середнього випрямленого струму:

$$\begin{aligned} I_{dm} &= \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{I_{c \max}}{\sqrt{2}}\right) \cdot U_{л} \cdot \cos \varphi + n \cdot P_T}{U_d} = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{78,815}{\sqrt{2}} \cdot 380 \cdot 0,87 + 6 \cdot 97,996}{513} = 63,353 \text{ A} \end{aligned} \quad (3.16)$$

де, N – кількість пар транзистор/діод в інверторі

Максимальний робочий струм діоду:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 63,353 = 66,204 \text{ A} \quad (3.17)$$

де, k_{cc} - коефіцієнт для мостової трифазної схеми при оптимальних параметрах Г-образного LC фільтру;

Максимально зворотна напруга діоду:

$$\begin{aligned} U_{vm} &= k_{з.н.} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{л} \cdot k_{с.н.} \cdot k_c + \Delta U_n = \\ &= 1,15 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,35 \cdot 1,1 + 125 = 1043 \text{ В} \end{aligned} \quad (3.18)$$

де, $k_{з.н.}$ - коефіцієнт запасу по напрузі [$\geq 1,15$]

k_c - коефіцієнт допустимого підвищення напруги [$\geq 1,1$]

ΔU_n - запас на комутаційні викиди напруги в ланці постійного струму [100 ÷ 150 В]

Вибір випрямляча здійснюється згідно з умовою:

$$\begin{aligned} U_j &> \frac{U_{vm.}}{100} \\ I_{пр.} &> I_{vm} \end{aligned} \quad (3.19)$$

Обирається трифазний мостовий випрямляч 78-VS-70MT160P-P виробника Vishay Semiconductors [5].

Характеристики:

$I_{пр.} = 75 \text{ A}$ - максимальний робочий струм діода.

$U_j = 1,45 \text{ В}$ - пряме падіння напруги.

$R_{он} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$ - динамічний опір напівпровідникового пристрою в провідному стані.

$$R_{th(CF)v} = 0,1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} - \text{термічний опір корпус-поверхня теплопровідної}$$

пластини.

$$R_{th(JC)dv} = 0,23 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} - \text{термічний перехідний опір кристал-корпус.}$$

Розрахунок втрат у випрямлячі для усталеного режиму роботи:

$$\begin{aligned} P_{DV} &= m_v \cdot k_{cs} \cdot (U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1}) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = \\ &= 6 \cdot 0,577 \cdot (1,45 + 9,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{63,353}{1,2}) \cdot \frac{63,353}{1,2} = \\ &= 352,363 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (3.20)$$

де, m_v - число напівпровідникових пристроїв в схемі

k_{cs} - коефіцієнт для трифазної мостової схеми

Температура кристалу:

$$T_{jDV} = T_c + \frac{P_{DV}}{n_D} \cdot R_{th(JC)dv} = 110 + \frac{352,363}{6} \cdot 0,23 = 123,507 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (3.21)$$

Перевірка теплового режиму роботи кристалу:

$$T_{jDV} < 175 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (3.22)$$

Максимально допустимий перехідний опір охолоджувач-навколишнє середовище в розрахунку на випрямляч

$$R_{th(FA)v} = \frac{T_c - T_a}{P_{DV}} - R_{th(CF)v} = \frac{110 - 25}{352,363} - 0,1 = 0,141 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \quad (3.23)$$

3.3 Розрахунок параметрів охолоджувача

Попередньо визначається сумарний перехідний тепловий опір охолоджувач-навколишнє середовище в розрахунку на сумарну потужність, тобто з урахуванням всіх модулів.

$$R_{th(FA)p} = \frac{R_{th(FA)i} \cdot R_{th(FA)v}}{R_{th(FA)i} + R_{th(FA)v}} = \frac{0,467 \cdot 0,141}{0,467 + 0,141} = 0,108 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \quad (3.24)$$

Площа охолоджувача бере участь в конвекції (Рис. 3.1)

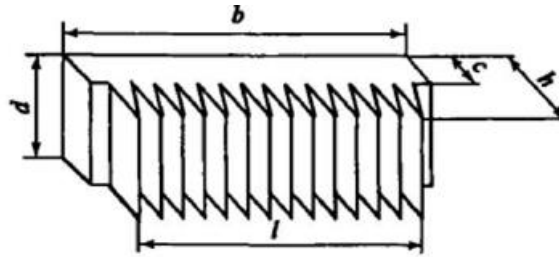


Рисунок 3.2 – Охолоджувач

Попередньо приймається:

$m = 400$ – число ребер охолоджувача

$d = 0,15$ м - довжина

$b = 0,1$ м - ширина

$h = 0,1$ м - висота

$c = 0,0001$ м - висота, яка не приймає участі в конвекції

$$\begin{aligned} A_{\text{conv.}} &= 2 \cdot d \cdot (b + m \cdot (h - c)) = \\ &= 2 \cdot 0,15 \cdot (0,1 + 400 \cdot (0,1 - 0,0001)) = 12,018 \text{ м}^2 \end{aligned} \quad (3.25)$$

Площа охолоджувача, що бере участь у випромінюванні тепла:

$$A_{\text{rad.}} = 2 \cdot d \cdot (b + h) = 2 \cdot 0,15 \cdot (0,1 + 0,1) = 0,06 \text{ м}^2 \quad (3.26)$$

Перехідний опір випромінювання тепла:

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Qrad}} &= \frac{T_{\text{cK}} - T_{\text{aK}}}{5,1 \cdot E \cdot A_{\text{rad}} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{cK}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{aK}}}{100} \right)^4 \right]} = \\
 &= \frac{383,15 - 298,15}{5,1 \cdot 0,8 \cdot 0,06 \cdot \left[\left(\frac{383,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{298,15}{100} \right)^4 \right]} = \\
 &= 2,544 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}
 \end{aligned} \tag{3.27}$$

де $T_{\text{cK}} = T_{\text{c}} + 273,15$ - температура теплопровідної пластини в Кельвінах

$T_{\text{aK}} = T_{\text{a}} + 273,15$ - температура охолоджуючої пластини в Кельвінах

E - коефіцієнт випромінювання з поверхні тепла для алюмінію

Перехідний температурний опір теплопередачі конвекцією:

$$\begin{aligned}
 R_{\text{Qconv}} &= \frac{1}{1,34 \cdot A_{\text{conv.}} \cdot F_{\text{red.}}} \cdot \left(\frac{d}{T_{\text{cK}} - T_{\text{aK}}} \right)^{0,25} = \\
 &= \frac{1}{1,34 \cdot 12,018 \cdot 0,9} \cdot \left(\frac{0,1}{383,15 - 298,15} \right)^{0,25} = 0,014 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}
 \end{aligned} \tag{3.28}$$

де $F_{\text{red.}}$ - коефіцієнт погіршення тепловіддачі (для відстані між ребрами $< 5\text{мм}$)

Перехідний температурний опір охолоджувач-навколишнє середовище при природному охолодженні.

$$R_{\text{th(FA)}} = \frac{R_{\text{Qrad}} \cdot R_{\text{Qconv}}}{R_{\text{Qrad}} + R_{\text{Qconv}}} = \frac{2,544 \cdot 0,014}{2,544 + 0,014} = 0,014 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \tag{3.29}$$

Перевірка параметрів охолодження:

$$R_{th(FA)p} > R_{th(FA)}$$

$$0,108 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} > 0,014 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}} \quad (3.30)$$

Температурний опір охолоджувача менше розрахункового значення, отже, габаритні розміри охолоджувача підібрані правильно.

3.4 Розрахунок фільтру

Коефіцієнт пульсацій на вході фільтру:

$$q_{1\text{вх}} = \frac{2}{m_p^2 - 1} = \frac{2}{6^2 - 1} = 0,057 \quad (3.31)$$

де, m_p - пульсність схеми

Коефіцієнт згладжування по першій гармоніці:

$$S = \frac{q_{1\text{вх}}}{q_{1\text{вих}}} = \frac{0,057}{0,004762} = 12 \quad (3.32)$$

де, $q_{1\text{вих}}$ - коефіцієнт пульсацій на виході фільтру, обирається таким чином, щоб значення S лежало в межах $[3 \div 12]$ де 12 – максимальне згладжування.

Індуктивність дроселя LC фільтру:

$$L_{0\text{min}} = \frac{0,013 \cdot U_{\text{л}}}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot I_{\text{дм}}} = \frac{0,013 \cdot 380}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 63,353} = 2,482 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \quad (3.33)$$

де, f_c - частота живильної мережі

Для забезпечення коефіцієнту потужності на вході $K_m = 0,95$ необхідно дотримуватися умови:

$$\begin{aligned} L_0 &\geq 3 \cdot L_{0\min} \\ 3 \cdot L_{0\min} &= 7,446 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \end{aligned} \quad (3.34)$$

Приймаємо

$$L_0 = 0,001 \text{ Гн}$$

Ємність конденсатора LC фільтру визначається з виразу

$$C_0 = \frac{S+1}{(2 \cdot \pi \cdot m_p \cdot f_c)^2 \cdot L_0} = \frac{12+1}{(2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 50)^2 \cdot 0,001} = 3,659 \cdot 10^{-3} \text{ Ф} \quad (3.35)$$

Ємність конденсатора необхідна для протікання реактивного струму навантаження інвертора, знаходиться з виразу:

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{sm1}} \cdot \left(\sin \left(\frac{\varphi_1}{2} - \frac{\pi}{12} \right)^2 \right)}{2 \cdot U_d \cdot f_{\text{SW}} \cdot q_{1\text{ВЫХ.}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 42,103 \cdot \left(\sin \left(\frac{29,541}{2} - \frac{\pi}{12} \right)^2 \right)}{2 \cdot 513 \cdot 2500 \cdot 4,762 \cdot 10^{-3}} = \\ &= 5,183 \cdot 10^{-3} \text{ Ф} \end{aligned} \quad (3.36)$$

де,

$$I_{\text{sm1}} = \frac{P_{\text{НОМ.}}}{m_f \cdot \eta_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi \cdot U_\phi} = \frac{22000}{3 \cdot 0,91 \cdot 0,87 \cdot 220} = 42,103 \text{ А} \quad - \text{ амплітудне значення}$$

струму в фазі двигуна

$$\varphi_1 = \arccos(\cos \varphi) = 29,541^\circ$$

m_f - число фаз двигуна

Для практичної реалізації фільтру використовують конденсатори з найбільшою ємністю, тому далі в розрахунках використовується C_1

Амплітуда струму, що протікає через конденсатор фільтру на частоті пульсацій випрямленого струму

$$\begin{aligned}
 I_{C0m} &= q_{I_{\text{ВЫХ}}} \cdot U_d \cdot 2 \cdot \pi \cdot m_p \cdot f_c \cdot C_l = \\
 &= 4,762 \cdot 10^{-3} \cdot 513 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 50 \cdot 5,183 \cdot 10^{-3} = \\
 &= 23,865 \text{ A}
 \end{aligned}
 \tag{3.37}$$

Далі формується батарея конденсаторів з параметрами:

$$\begin{aligned}
 I_{C0} &\geq 23,86 \\
 C &\geq 1200 \text{ мкФ} \\
 U_{\text{н.дс}} &\geq 800 \text{ В}
 \end{aligned}
 \tag{3.38}$$

Обираємо конденсатор 3BSE051923G3131 виробника ABB [6]

Характеристики:

$$C = 750 \text{ мкФ}$$

$$U_{\text{н.дс}} = 450 \text{ В}$$

Для підвищення робочої напруги вмикається паралельно 2 конденсатора даної фірми.

3.5 Розрахунок снаббера

Щоб мінімізувати перенапругу та запобігти аварії IGBT, необхідна установка снабберу (демпфуючого ланцюгу). Доцільно обрати схеми з послідовним з'єднанням конденсатора та резистора, так як вона має малу кількість елементів, та малі струми пульсації через конденсатор.

Обирається конденсатор FFLR6K0168KJE [7] з хорошими високочастотними характеристиками, малою власною індуктивністю, високими допустимими струмами і малими втратами.

Характеристики:

$$C = 0,15 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U = 1000 \text{ В}$$

Потужність резистора розраховується за формулою:

$$P = 0,5 \cdot C \cdot \Delta U^2 \cdot f_{\text{sw}} = 0,5 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 60^2 \cdot 2500 = 0,675 \text{ Вт} \tag{3.39}$$

де, $\Delta U = 60 \text{ В}$ - перенапруга

Вибір опору резистора:

$L_{sn} = 10 \cdot 10^{-9}$ - індуктивність ланцюгів (має бути такою або менше)

$$R_n = 2 \cdot \sqrt{\frac{L_{sn}}{C}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-9}}{0,15 \cdot 10^{-6}}} = 0,516 \text{ Ом} \quad (3.40)$$

Обираємо резистор WSR2R5200FEA виробника Vishay / Dale

Характеристики:

$R = 0,52 \text{ Ом}$ - Опір

$P = 2 \text{ Вт}$ - номінальна потужність

3.6 Вибір перетворювача частоти

З точки зору енергетики головним параметром електропривода є його потужність. Тому при виборі перетворювача частоти в першу чергу необхідно визначити вимоги до його здатності навантаження. Другим значним параметром перетворювача є вимоги до напруги живильної мережі. Як правило, перетворювачі живляться від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В, розкид $+10\% / - 15\%$.

В наш час існує велика кількість різних перетворювачів частоти. Провідні позиції серед них займають перетворювачі таких фірм як «Siemens», «ABB», «Danfoss», «Omron», «Mitsubishi», «Schneider Electric», «Delta Electronics».

Обираємо ACS550-01-05F-4 фірми ABB за умовою, що $I_{н \text{ ПЧ}} \geq 1,25 I_{н \text{ ДВ}}$

$$P_{н \text{ ПЧ}} \geq 1,25 P_{н \text{ ДВ}}$$

Перевірка адекватності вибору ПЧ із наступних умов:

- розраховується повна пускова потужність ПЧ:

$$\left[\frac{k \cdot n}{9550 \cdot \eta \cdot \cos \varphi} \cdot \left(M_{\text{CT}} + \frac{J}{9,55} \cdot \frac{n}{t_A} \right) \right] \leq 1,5 \cdot P_{\text{н.пч.}} \quad (3.41)$$

$$\left[\frac{0,95 \cdot 2940}{9,55 \cdot 0,9 \cdot 0,9} \cdot \left(71,463 + \frac{0,062}{9,55} \cdot \frac{2940}{10} \right) \right] = 26,492 \leq 1,5 \cdot 30 \text{кВа}$$

$$26,492 \text{ кВа} \leq 45 \text{ кВа}$$

де, k – коефіцієнт спотворення струму, пов'язаний з алгоритмом формування синусоїди струму за допомогою ШІМ (широтно-імпульсної модуляції напруги на двигуні). Цей коефіцієнт може приймати значення від 0,95 до 1,05 та не має розмірності. У першому наближенні можна прийняти його рівним 1;

t_A – час, протягом якого необхідно розігнати двигун до частоти обертання;

M_{CT} – статичний момент навантаження на валу двигуна, Н·м, найчастіше це номінальний момент двигуна, взятий зі специфікації на двигун.
– розраховується струм $I_{\text{ПОТР}}$, який споживає двигун при роботі від перетворювача частоти при напрузі U мережі 220/380В:

$$I_{\text{ПОТР}} = \frac{k \cdot n \cdot M_{\text{CT}}}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} =$$

$$= \frac{0,95 \cdot 2940 \cdot 71,463}{9,55 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} = 39,203 \text{А} < 48 \text{А} \quad (3.42)$$

де, M – момент навантаження на валу двигуна, Н·м, найчастіше це номінальний момент двигуна, взятий зі специфікації на двигун;

U – лінійна напруга (дійсне значення) на обмотках двигуна, В.

– Розраховується струм $I_{\text{ПОТР}}$, який споживає двигун при лінійному розгоні:

$$I_{\text{ПОТР}} = \frac{k \cdot n}{9,55 \cdot \eta \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \sqrt{3}} \cdot (M_{\text{ст}} + M_{\text{дин}})$$

$$I_{\text{ПОТР}} = \frac{0,95 \cdot 2940}{9,55 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 380 \cdot \sqrt{3}} \cdot (71,463 + 1,909) = 40,25 \text{ A} < 48 \text{ A},$$

$$M_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 9,55}{n} = \frac{22 \cdot 9,55}{2940} = 71,463 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{дин}} = \frac{J}{9,55} \cdot \frac{n}{t} = \frac{0,062}{9,55} \cdot \frac{2940}{10} = 1,909 \text{ Н} \cdot \text{м},$$
(3.43)

де, $M_{\text{ст}}$ – статичний момент навантаження на валу двигуна, Н·м, найчастіше це номінальний момент двигуна, взятий з специфікації на двигун;

$M_{\text{дин}}$ – динамічний момент навантаження, що виникає при розгоні інерційного навантаження, Н·м.

- Розраховується повна споживана двигуном потужність в номінальному сталому режимі

$$S_{\text{ПОТР}} = \frac{k \cdot P}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{0,95 \cdot 22}{0,9 \cdot 0,9} = 25,802 \text{ кВА} < 30 \text{ кВА},$$
(3.44)

де, P – номінальна потужність двигуна, кВт.

З одержаних умов можна зробити висновок, що ПЧ обраний правильно.

3.7 Вибір контакторів та автоматів захисту

По номінальному струму та потужності було обрано контактор фірми АВВ серії AF80-30-00-133Р, технічні характеристики якого знаходяться в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики контактора АВВ серії AF80-30-00-133P [10]

| Характеристики | Величина |
|---|----------|
| Тип | СІ 45 |
| АС-1 навантажувальний, I_{th} , відкритий | 80 А |
| АС-1 навантажувальний, I_{th} , закритий | 80 А |
| АС-3 навантажувальний, I_e | 45 А |
| АС-3 силовий, U_e , 380 – 500В | 22 кВт |
| Головні контакти | 3 |
| Максимальна кількість навісних допоміжних контактів | 4 |

Також було обрано автоматичний вимикач, який призначений для захисту проводів, кабелів, електрообладнання від короткого замикання і перевантажень. Для цього було виконано наступне:

1. $I_{расц} \geq I_{дл}, I_{дл} \geq I_{н.ЕД} = 39,203 \text{ А};$
2. $I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{пуск}$ (для одного ЕП);
 $I_{кз} \geq 1,5 \cdot I_{кр} = 1,5 \cdot 267,682 = 401,523 \text{ А},$
 $I_{кр} = I_n = 267,682 \text{ А}$ - пусковий струм.

Обрано автоматичний вимикач фірми АВВ серії BMS413C63 [11] з $I_{ном} = 64 \text{ А}, I_{н.расц.} = 50 \text{ А}, I_{кз} = 10 \cdot I_{н.расц} = 10 \cdot 50 = 500 \text{ А}.$

Вибір плавких запобіжників:

Обрані плавкі запобіжники виходячи з умови:

$$I_{BC} \geq I_{н.ЕД}$$

Обраний запобіжник типу OFAA000GG100 [12] з параметрами, наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Параметри запобіжника типу OFAA000GG100

| Тип | $I_{ном}, \text{ А}$ | |
|--------------|----------------------|-----------------|
| | Запобіжника | Плавкої вставки |
| OFAA000GG100 | 100 | 40 |

3.8 Вибір джерел живлення

Для живлення логічного модуля спільно з модулем розширення вибираємо блок живлення фірми ABB серії CP-D 24/4, 90 Вт. [13]

Технічні дані блока живлення CP-D 24/4 наведені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Технічні дані блока живлення CP-D 24/4

| | |
|---|---|
| Номінальна вхідна напруга, В | ~100 ... 240 |
| Номінальна вихідна напруга, В | =24 |
| Вхідні ланцюги | |
| Номінальна вхідна напруга $U_{\text{вх.ном}}$, В | ~100 ... 240; широкий діапазон вхідних напруг |
| Допустимий діапазон зміни вхідних напруг, В | ~85 ... 264 |
| Номінальний вхідний струм $I_{\text{вх.ном}}$, А | 1,95 ... 0,97 |
| Вихідні ланцюги | |
| Номінальна вихідна напруга $U_{\text{вих.ном}}$, В | =24 |
| Допустимі відхилення вихідної напруги | ±3% |
| ➤ Статична компенсація при змінах вхідної напруги | 0,1% |
| ➤ Статична компенсація при зміні навантаження | 1,5% |
| Номінальний вихідний струм $I_{\text{вих.ном}}$, А | 4 |

3.9 Вибір кабелів

З'єднання обладнання в шафах проводиться одножильним проводом марки ПВ-1, що має сплетену і багатодотову мідну жилу з полівінілхлоридною ізоляцією різного кольору. Обирається провід з однодротовою жилою перетином $1,5 \text{ мм}^2$ для підключення обладнання ланцюгу керування; дріт з перетином $2,5 \text{ мм}^2$ для підключення перетворювача частоти і контакторів. Для живлення перетворювачів частоти і електродвигунів обрано за умовою $I_{\text{каб}} \geq I_{\text{доп}}$; $42 \geq 40$ силовий кабель ВВГнг 5х25.

3.10 Вибір клемних затискачів

Клемники широко застосовуються як у побутовій електропроводці, так і в промисловому монтажі в місцях, що вимагають підвищеної надійності і вібростійкості. У даній роботі обрані клемники фірми «WAGO» (Німеччина).

Обрані клеми для установки DIN-рейка з затискачем CAGE CLAMP фірми WAGO з боковим підключенням.

3.11 Обґрунтування вибору контролера

ПЛК ABB серії AC 700F характеризується компактними розмірами і добре підходять для невеликих додатків, з кількістю сигналів від 16 до 256.

Модуль процесора оснащений наступними опціями:

- Передня панель – для зручності діагностики
- порт Ethernet - для підключення до мережі
- два послідовних порту - для інтерфейсу MODBUS та розширеної діагностики

Безпосередньо праворуч від процесора модуля можуть бути розташовані до 8 місцевих пристроїв зв'язку з об'єктом серії S700. Оскільки функція каналів може бути обрана програмно, то в залежності від типу модуля, використання цих модулів може бути дуже гнучким. Це дозволяє скоротити кількість модулів до мінімуму. Поряд з перевагами застосування мережі Ethernet, ПЛК ABB AC 700F можна встановлювати безпосередньо в полі, використовуючи їх як економічно ефективні, інтелектуальні мережі УСО.

Прикладні програми автоматизації для контролера ABB AC 700F можна конфігурувати будь-яким з 5-ти мов стандарту IEC 61131-3 вбудованих в програмі інжинірингу Control Builder F.

З лінійки програмованих логічних контролерів ABB обираємо контролер AC 700 [14] .

3.12 Вибір і компонування шафи електроавтоматики

Перелік блоків компонування шафи наведені в табл. 3.4

Таблиця 3.4 – Перелік блоків компоновки шафи

| Позначення | Розшифровка |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| ПЧ | Перетворювач частоти |
| Блок живлення мікроконтролеру | Блок живлення ABB CP-D 24/4 |
| Мікроконтролер | ПЛК ABB серії AC 700F |
| QF – QF3 | Автоматичний вимикач 175x112,5x112,5 |
| K1 | Контактор 1 |
| K2 | Контактор 2 |
| K3 | Контактор 3 |

Обираємо одну настінну шафу Hyperline TWM-0945-GR-RAL9004
Шафа настінна, 501x600x450, зі скляними дверима [15].

Так як через масогабаритні показники проблемно ставити ПЧ в шафу електроавтоматики, то ПЧ ставимо в окрему шафу. І обираємо Hyperline TTC-2268-GS-RAL9004, 1166x600x800 [16] .

3.13 Розрахунок каретки конвеєра

Здійснимо розрахунок каретки підвісного штовхаючого конвеєра, призначеного для транспортування в приміщенні деталей зі складу в механоскладальний цех. Маса однієї деталі $m = 400$ кг, найбільші розміри $4230 \times 1678 \times 1432$ мм.

Продуктивність конвеєру $Z = 22$ кузови в годину. Довжина і висота ділянок (м): $L_1 = 60$; $L_2 = 15$; $L_3 = 25$; $L_5 = 3$; $L_7 = 80$; $L_9 = 37$; $L_{10} = 15$; $L_{11} = 45$; $L_{13} = 81$; $h_1 = 7$; $h_2 = 7$.

В якості тягового органу конвеєра попередньо обираємо тяговий розбірний ланцюг Р2-160-290 ГОСТ 589—74 з шагом 160 мм, погоною масою ланцюга $q_{\text{ц}} = 5,7$ кг/м, руйнівним навантаженням 290 кН.

Приймаємо для вибраного ланцюга зірочку з числом зубів $z = 0,14$ и діаметром ділільного кола $D_o = 1250$ мм.

Для внутрішньоцехового транспортування вантажів масою до 500 кг с автоматизованим завантаженням і розвантаженням рекомендується швидкість ланцюга $v = 0,17$ м/с.

Необхідний крок підвісок з вантажами, каретками і візками $t_r = T = t_k = 3600 v/Z = 3600 \cdot 0,17/22 = 27,818$ м. При кроці ланцюга $t = 160$ мм приймаємо $T = 2zt = 2 \cdot 87,5 \cdot 0,16 = 28$ м.

При цьому продуктивність конвеєра $Z = 3600 \cdot 0,17/28 = 22$ шт./ч.

Обираємо типову каретку ЦПК-100Р с розрахунковим навантаженням 5 кН, масою $m_k = 5,5$ кг. Прийmemo орієнтовно масу чотириколісного візка на вантажному шляху $m_r = 15$ кг, підвіски для вантажу $m = 7,5$ кг, комплекту

штовхача $m_{т.к} = 3$ кг, пристосування для кріплення каретки до ланцюга $m_{пр} = 2$ кг.

Погонна маса на тяговій гілці, згідно формулі (10.26), $q_t = (m_k + m_{пр}) / t_k + q_{ц} + m_{т.к} / T = (5,5 + 2)/0,8 + 5,2 + 3/0,8 = 18,32$ кг/м;

На вантажній порожній гілці за формулою (10.27) $q_x = (1,5 + 7,5)/0,8 = 28,12$ кг/м;

на вантажній завантаженій гілці за формулою (10.28) $q_r = 28,12 + 40/(0,8 \cdot 1) = 78,12$ кг/м. Вантаж розміщено на одній підвісі ($z_k = 1$).

Висновки до розділу 3

1. Здійснено вибір необхідного силового обладнання для реалізації електроприводу штовхаючого конвеєру, а саме перетворювач частоти, керуючий контролер, захисно-комутаційну апаратуру, з'єднувальні кабелі, шафу керування. Обладнання перевірено на відповідність до розрахункових режимів роботи електроприводу.
2. Розроблено конструкцію тягового елемента штовхаючого конвеєра.
3. Отримані результати дають змогу здійснити практичну реалізацію системи автоматизованого електроприводу штовхаючого конвеєра.

4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ'ЄКТА. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ПАРМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

4.1 Розрахунок природних характеристик системи регульованого електроприводу

Синхронна кутова швидкість обертання двигуна:

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot n_c}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с} \quad (4.1)$$

Номінальна частота обертання двигуна:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot n_c = (1 - 0,023) \cdot 1500 = 1466 \text{ об/хв} \quad (4.2)$$

Номінальна кутова швидкість:

$$n_{\text{дв.н}} = (1 - S_n) \cdot \omega_c = (1 - 0,023) \cdot 157 = 153.389 \text{ рад/с} \quad (4.3)$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{22000}{153.389} = 143.426 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.4)$$

Тоді номінальний фазний струм:

$$I_{\text{фн}} = \frac{P_{\text{дв}}}{m \cdot U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,91} = 42,103 \text{ А} \quad (4.5)$$

Для розрахунків статистичних і динамічних характеристик асинхронного двигуна знайдемо параметри схеми заміщення. Т – образна схема заміщення асинхронного двигуна для однієї фази приведена на рисунку 4.1.

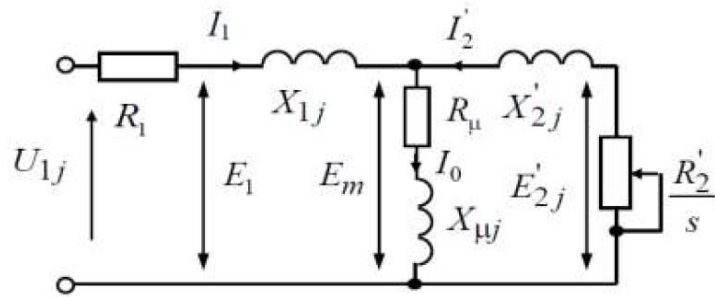
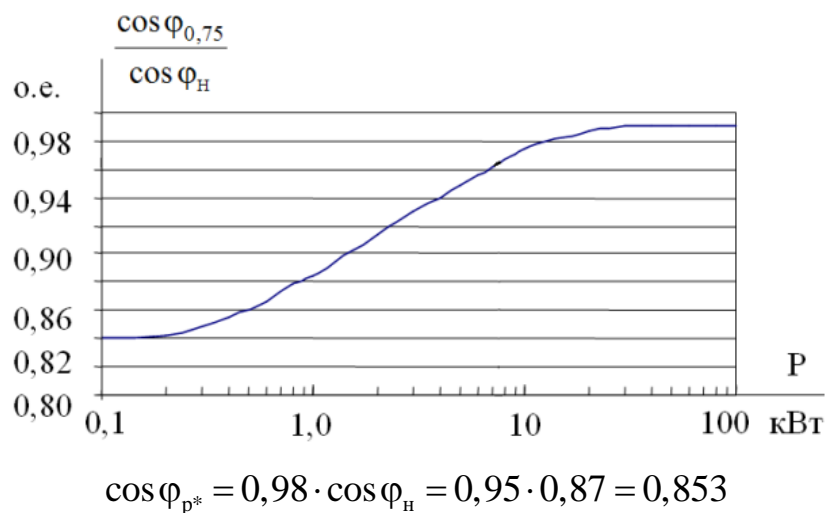


Рисунок 4.1 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Асинхронні двигуни проектуються таким чином, що найбільший ККД досягається під час навантаження на 10 – 15% менше номінального. Коефіцієнт потужності під час навантаження значно відрізняється від потужності при номінальному навантаженні, причому ця відмінність сильно залежить від потужності двигуна і для відомих серій асинхронних двигунів є достатньою для практики точністю підпорядковується залежності, наведеної на рис. 4.2.

Коефіцієнт потужності при неповному навантаженні:



(4.6)

Рисунок 4.2 – Залежність $\cos \varphi_{0,75} / \cos \varphi_n$ від потужності АД

Коефіцієнт навантаження двигуна приймаємо $p^*=0,75$ через зазначені вище особливості проектування асинхронних двигунів.

Тоді струм статора двигуна при частковому навантаженні дорівнює:

$$I_{11} = \frac{p^* \cdot P_{дв}}{m \cdot U_{\phi} \cdot \cos \varphi_{p^*} \cdot \eta_n} = \frac{0,75 \cdot 22000}{3 \cdot 220 \cdot 0,853 \cdot 0,91} = 32,22 \text{ A} \quad (4.7)$$

Струм холостого ходу асинхронного двигуна:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p^* \cdot I_{\phi n} \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}{1 - \left(\frac{p^* \cdot (1 - S_n)}{1 - p^* \cdot S_n} \right)^2}} = \quad (4.8)$$

$$= \sqrt{\frac{32,22^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 42,103 \cdot (1 - 0,023)}{1 - 0,75 \cdot 0,023} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot (1 - 0,023)}{1 - 0,75 \cdot 0,023} \right)^2}} =$$

$$= 10,915 \text{ A}$$

З формули Клосса слідує співвідношення для розрахунку критичного ковзання:

$$S_{кр.} = S_n \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot S_n \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} = \quad (4.9)$$

$$= 0,023 \cdot \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 - (1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,023 \cdot 1 \cdot (2,9 - 1)} = 0,144 \text{ в.о.}$$

де, в першому приближенні, коефіцієнт $\beta = 1$

Момент критичний двигунного режиму:

$$M_{кр.} = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2}{2 \cdot \omega_n \cdot C_1 \cdot \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_k^2} \right]} = \quad (4.10)$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157 \cdot 1,019 \cdot \left[0,138 + \sqrt{0,138^2 + 0,944^2} \right]} = 415,553 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критичне ковзання:

$$S_k = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_k^2}} = \pm \frac{0,135}{\sqrt{0,138^2 + 0,944^2}} = \pm 0,142 \quad (4.11)$$

Максимальний момент двигуна:

$$M_{\max} = k_{\max} \cdot M_n = 2,9 \cdot 71,701 = 207,933 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.12)$$

Мінімальний момент двигуна:

$$M_{\min} = k_{\min} \cdot M_n = 2 \cdot 71,701 = 143,402 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.13)$$

Попередньо для розрахунку активних і індуктивних опорів (параметрів схеми заміщення) обмоток статора і ротора визначаються наступні коефіцієнти:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi n}} = 1 + \frac{10,915}{2 \cdot 7 \cdot 42,103} = 1,019 \quad (4.14)$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{\phi}^2 \cdot (1 - S_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_{\text{дв}}} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,023)}{2 \cdot 1,019 \cdot 2,9 \cdot 22000} = 1,091 \quad (4.15)$$

Активний опір ротора, приведений до обмотки статора асинхронного двигуна:

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{S_{\text{кр}}} \right) \cdot C_1} = \frac{1,091}{\left(1 + \frac{1}{0,144} \right) \cdot 1,019} = 0,135 \text{ Ом} \quad (4.16)$$

Активний опір статора обмотки статора визначається за наступним виразом:

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,019 \cdot 0,135 \cdot 1 = 0,138 \text{ Ом} \quad (4.17)$$

Параметр γ , для визначення опору короткого замикання:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{\text{кр}}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,144^2} - 1^2} = 6,856 \quad (4.18)$$

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R'_2 = 6,856 \cdot 1,019 \cdot 0,135 = 0,944 \text{ Ом} \quad (4.19)$$

Тоді індуктивний опір обмотки ротору, приведений до обмотки статора, приблизно може бути розрахован:

$$X'_2 = 0,58 \cdot \frac{X_k}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0,944}{1,019} = 0,537 \text{ Ом} \quad (4.20)$$

Індуктивний опір обмотки статора:

$$X'_2 = 0,42 \cdot X_k = 0,42 \cdot 0,944 = 0,396 \text{ Ом} \quad (4.21)$$

Індуктивний опір кола намагнічування визначається через ЕРС обмотки статора:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_\phi \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{\phi n})^2 + (U_\phi \cdot \sin \varphi_n + X_1 \cdot I_{\phi n})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,87 - 0,138 \cdot 42,103)^2 + (220 \cdot 0,493 + 0,396 \cdot 42,103)^2} = \\ &= 207,06 \text{ В} \end{aligned} \quad (4.22)$$

Індуктивний опір намагнічування:

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{207,06}{10,915} = 18,97 \text{ Ом} \quad (4.23)$$

Індуктивність обмотки статора, обумовлена потоками розсіювання:

$$X'_2 = \frac{X_1}{2\pi f} = \frac{0,396}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,001 \text{ Гн} \quad (4.24)$$

Приведена індуктивність обмотки ротора обумовлена потоками розсіювання:

$$L'_{2\delta} = \frac{X'_2}{2\pi f} = \frac{0,537}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,002 \text{ Гн} \quad (4.25)$$

Результуюча індуктивність, обумовлена магнітним потоком в повітряному зазорі, що створюється сумарною дією полюсів статора (Індуктивність контуру намагнічування):

$$L_m = \frac{X_m}{2\pi f} = \frac{18,97}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,06 \text{ Гн} \quad (4.26)$$

Знайдені параметри схеми заміщення електродвигуна наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри схеми заміщення електродвигуна 4A180S4Y3

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---|--------|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| S, в.о. | 0 | 0,02 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 1 |
| M, Н·м | 0 | 143,44 | 113,52 | 90,05 | 74,62 | 63,7 | 55,57 | 44,27 | 40,19 | 33,92 |

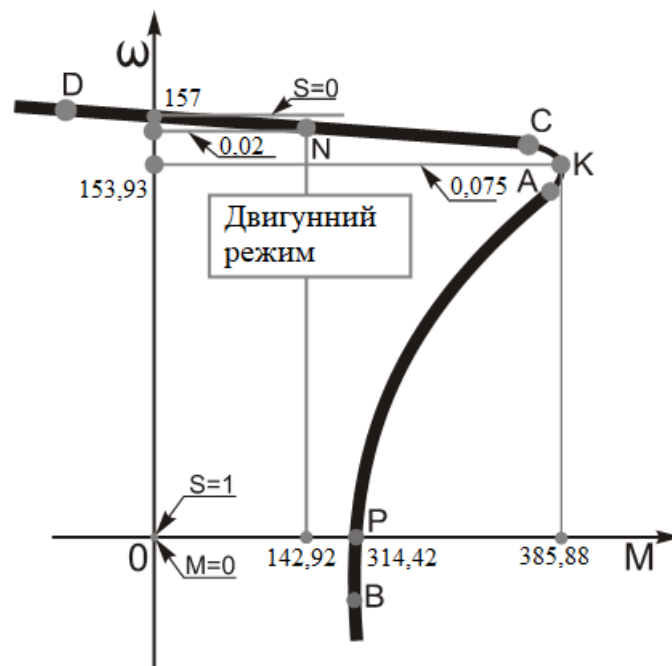


Рисунок 4.1 – Механічна характеристика асинхронного двигуна
Залежність струму ротора I'_2 , приведенного до обмотці статора, від ковзання S визначається наступним чином:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{\left(0,138 + \frac{0,135}{s}\right)^2 + (0,196 + 0,537)^2}} \text{ A} \quad (4.27)$$

Числові значення характеристики струму ротора наведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Числові значення характеристики струму ротора

| | | | | | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| I'_2 | 0 | 132,95 | 183,52 | 203,3 | 212,73 | 217,98 | 221,23 | 223,41 | 224,95 | 226,1 |
| ω | 153,41 | 136,51 | 119,66 | 102,78 | 85,91 | 69,03 | 110,61 | 111,7 | 112,47 | 113,05 |

Графік електромеханічної характеристики $\omega = f(I'_2)$ приведений на рисунку 4.2.

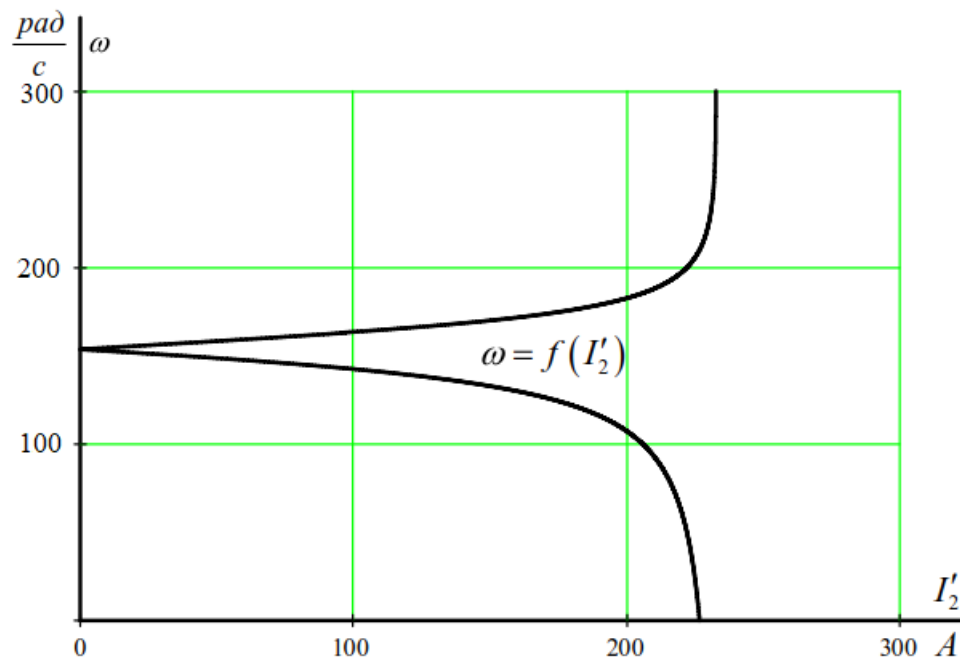


Рисунок 4.2 – Графік електромеханічної характеристики струму обмотки ротора $\omega = f(I'_2)$

Для побудови електромеханічної характеристики струму обмотки статора використано наступний вираз:

$$\begin{aligned}
 I_2(s) &= \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}} = \\
 &= \sqrt{10,915^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot 10,915 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \varphi_{2H}}
 \end{aligned}
 \quad (4.28)$$

де,

$$\sin \varphi_{2H} = \frac{X_k}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_k^2}} = \frac{0,944}{\sqrt{\left(0,138 + \frac{0,135}{s}\right)^2 + 0,944^2}}$$

Числові значення характеристики струму наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.5 – чисельні значення характеристики струму

| | | | | | | | | | | |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| I_2' | 10,91 | 139,45 | 192,18 | 212,81 | 222,66 | 228,13 | 231,52 | 233,79 | 235,4 | 236,6 |
| ω | 153,41 | 136,51 | 119,66 | 102,78 | 85,91 | 69,03 | 110,61 | 111,7 | 112,47 | 113,05 |

Електромеханічні характеристики двигуна наведені на рисунку 4.3

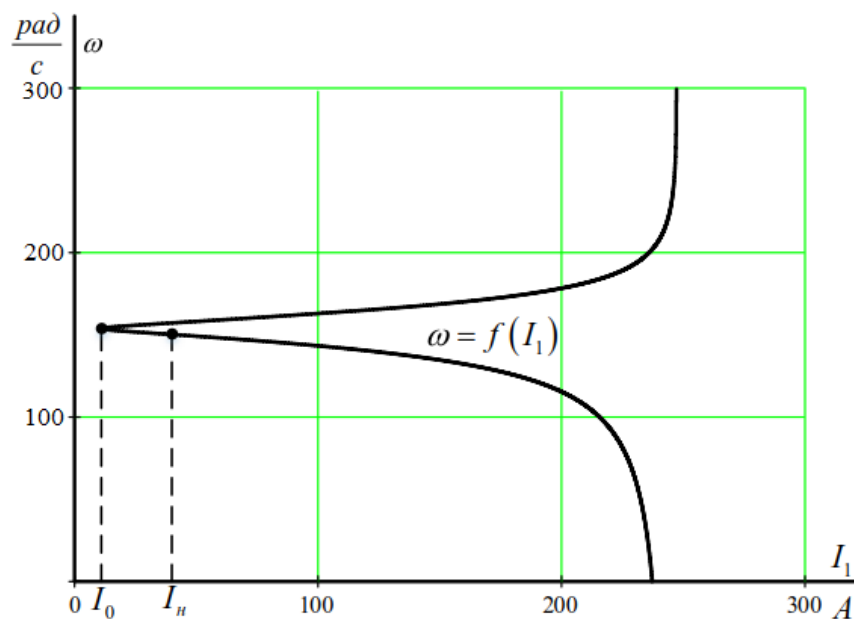


Рисунок 4.3 – Графік природної електромеханічної характеристики $\omega = f(I_1)$ асинхронного двигуна

Номінальний струм статора асинхронного двигуна I_{1H} при номінальному ковзанні $S_H = 0,023$ згідно з електромеханічною характеристикою.

Номінальний струм ротора визначається при номінальному ковзанні:

$$I'_2(s) = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{\left(0,138 + \frac{0,135}{0,023}\right)^2 + (0,396 + 0,537)^2}} = 36,649 \text{ A} \quad (4.29)$$

Номінальний струм статора двигуна:

$$I_2(s) = \sqrt{I_0^2 + I'_2(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I'_2(\omega) \cdot \sin \phi_{2H}} =$$

$$= \sqrt{10,915^2 + 36,649^2 + 2 \cdot 10,915 \cdot 36,649 \cdot 0,157} = 39,85 \text{ A} \quad (4.30)$$

При законі регулювання $Z_p = \frac{U_{1H}}{f} = \frac{220}{50} = 4,4$

Відносні значення частот напруги живлення:

| | |
|-------------------------------|---|
| при $f_{1H1} = 50 \text{ Гц}$ | $f_{1*1} = \frac{f_{1H}}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1$ |
| при $f_{1H2} = 40 \text{ Гц}$ | $f_{1*2} = \frac{f_{2H}}{f_{1H}} = \frac{40}{50} = 0,8$ |
| при $f_{1H3} = 20 \text{ Гц}$ | $f_{1*3} = \frac{f_{3H}}{f_{1H}} = \frac{20}{50} = 0,4$ |
| при $f_{1H4} = 10 \text{ Гц}$ | $f_{1*4} = \frac{f_{4H}}{f_{1H}} = \frac{10}{50} = 0,2$ |

Фазна напруга обмотки статора асинхронного двигуна при зміні частоти:

$$U_{1H1} = Z_p \cdot f_{1H1} = 4,4 \cdot 50 = 220 \text{ В}$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2} = 4,4 \cdot 40 = 176 \text{ В}$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H3} = 4,4 \cdot 20 = 88 \text{ В}$$

$$U_{1H4} = Z_p \cdot f_{1H4} = 4,4 \cdot 10 = 44 \text{ В}$$

Згідно з поданими частотами напруги живлення зробимо розрахунок значень швидкості ідеального холостого ходу:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 314,159 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 40}{2} = 251,327 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 20}{2} = 125,664 \text{ рад/с}$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{2} = 62,832 \text{ рад/с}$$

Струми холостого ходу при даних частотах регулювання:

$$I_{01} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H}} = \frac{220}{18,97} = 11,59 \text{ А}$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{176}{18,97 \cdot 0,8} = 11,59 \text{ А}$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{88}{18,97 \cdot 0,4} = 11,59 \text{ А}$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{44}{18,97 \cdot 0,2} = 11,59 \text{ А}$$

4.2 Розрахунок втрат в асинхронному двигуні при роботі на штучних характеристиках

Визначимо втрати в роторі. Прийmemo, що при частоті $f_{1H} = 50$ Гц навантаження проходить крізь точку номінального режиму двигуна.

Знайдемо частоти обертання, при яких відбувається перетин механічних характеристик навантаження та двигуна:

$$1. f_{1H1} = 50 \text{ Гц} - \omega_{p1} = 306,83 \text{ рад/с}$$

$$2. f_{1H2} = 40 \text{ Гц} - \omega_{p2} = 245,227 \text{ рад/с}$$

$$3. f_{1H3} = 20 \text{ Гц} - \omega_{p3} = 122,771 \text{ рад/с}$$

$$4. f_{1H4} = 10 \text{ Гц} - \omega_{p4} = 61,35 \text{ рад/с}$$

Втрати в роторі розрахуємо за виразом:

$$\Delta P_{21} = \omega_{01} \cdot s_{p1} \cdot M_{c1} = 157,07 \cdot 0,023 \cdot 71,701 = 259,02 \text{ Вт}$$

$$\Delta P_{22} = \omega_{02} \cdot s_{p2} \cdot M_{c2} = 47,125 \cdot 0,017 \cdot 37,182 = 29,787 \text{ Вт}$$

$$\Delta P_{23} = \omega_{03} \cdot s_{p3} \cdot M_{c3} = 31,415 \cdot 0,023 \cdot 5,715 = 4,129 \text{ Вт}$$

$$\Delta P_{24} = \omega_{04} \cdot s_{p4} \cdot M_{c4} = 23,56 \cdot 0,023 \cdot 1,731 = 0,938 \text{ Вт}$$

За розрахунковими даними отримана крива, яка відображає залежність втрат в роторі від частоти напруги живлення, вона зображена на рис 4.7.

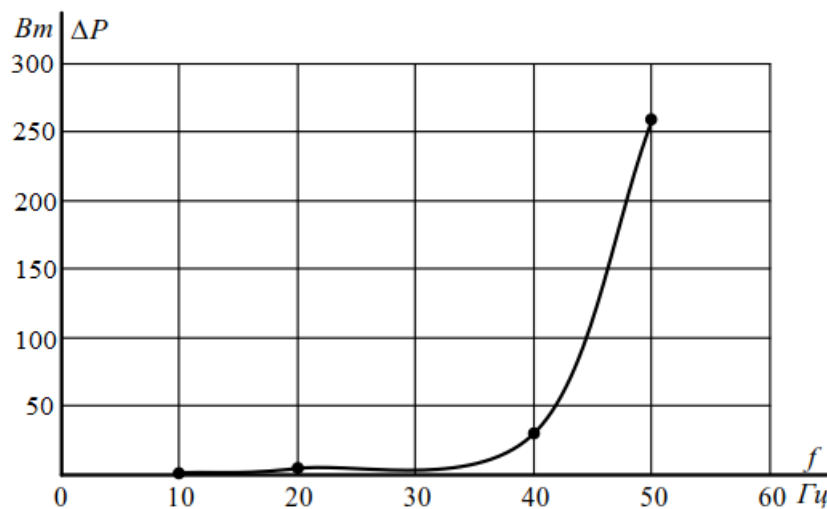


Рисунок 4.7 – Залежність втрат в роторі від частоти напруги живлення

Висновки до розділу 4

1. Розраховано природні та штучні характеристики системи регульованого електроприводу при частотному керування.
3. Визначені втрати в асинхронному двигуні при роботі на штучних характеристиках.

5 АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ АВТОМОБІЛІВ НА КОНВЕЄРІ І ОПИС СХЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

5.1 Принцип роботи системи керування

Основні вузли системи автоматизованого керування конвеєрами в цеху збірки ЗАО «ЗАЗ» приведені на рисунку 5.1(перша черга) та на рисунку 5.2 (друга черга).

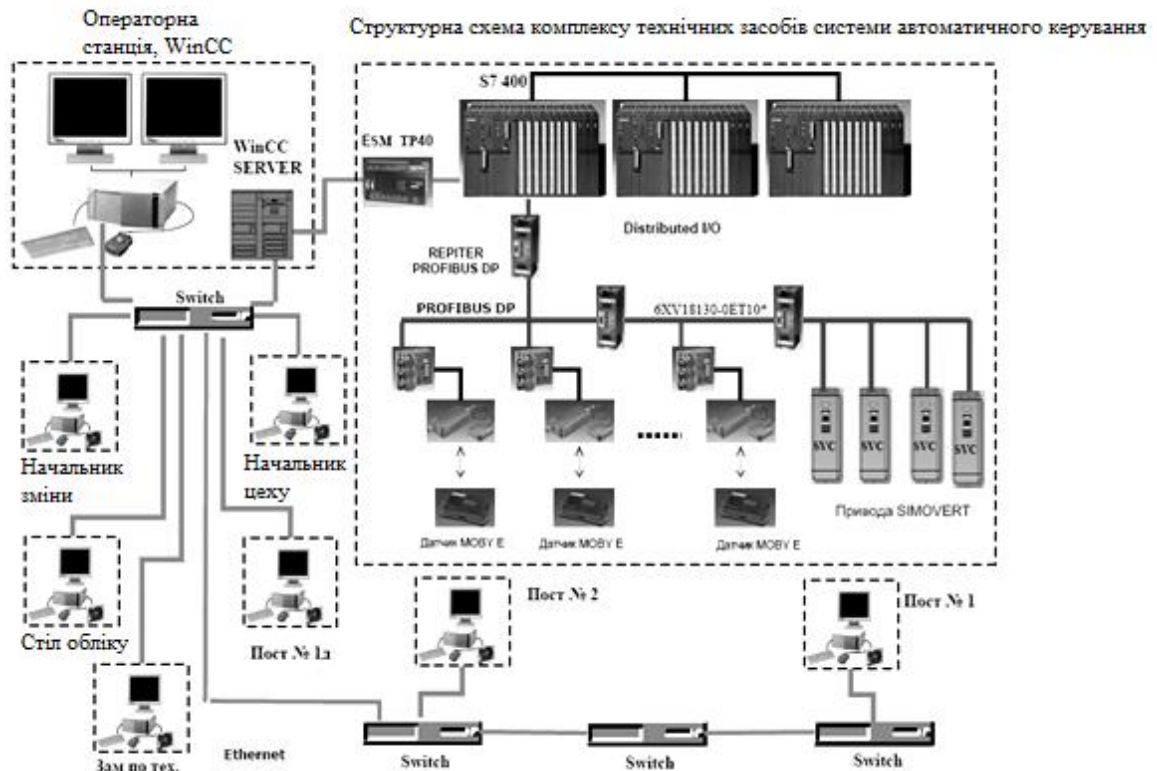


Рисунок 5.1 – Схема основних вузлів керування(перша черга).

MOBY датчики встановлені на зчехах і призначені для короткострокового зберігання основних характеристик кузова (двигуна). Читання/запис даних проводиться спеціальними пристроями, встановленими

системи адресації і ідентифікації кузовів і системи обліку автомобілів. Крім того, на технологічному сервері відбувається накопичення даних про кузови, що проходять через цех, у разі розриву зв'язку із загальнозаводською системою автомобілів. Після відновлення зв'язків вся інформація про рух кузовів в цеху автоматично передається в систему обліку автомобілів заводу. Перевірка зв'язку відбувається автоматично на технологічному сервері, після закінчення заданого тимчасового інтервалу.

З робочого місця «Пост №1» вводиться інформація про кузов після його виходу з цеху фарбування. На першому посту вводиться наступна інформація по кузову:

- модель;
- колір;
- код виконання;
- номер кузова;
- ознака наявності молдінга.

Дана інформація заноситься в базу технологічного сервера для передачі в систему обліку автомобілів і запису в МОВУ - датчик, встановлений на крабі. З першого поста кузов йде на склад (верхній поверх конвеєрів).

З робочого місця «Пост №1д» вводиться інформація про двигун перед його постановкою на конвеєр. На посту вводиться наступна інформація по двигуну:

- модель двигуна;
- номер двигуна.

Дана інформація заноситься в базу технологічного сервера для передачі в систему обліку автомобілів і запису в МОВУ - датчик, встановлений на крабові. З поста № 1д кузова йде на склад (верхній поверх конвеєрів).

Робоче місце «Пост № 2» призначено для запуску кузовів на конвеєр обробки. На цьому посту відбувається:

- зчитування з системи обліку автомобілів заводу довідника комплектації моделей автомобілів, вироблюваних ЗАТ «ЗАЗ»;

- друк карти комплектації кузова на підставі інформації довідника комплектації і моделі, привласненої кузову;

- коректура неправильно введеної на постах № 1 і № 2 інформації і видача зведень, необхідних для роботи оператора поста № 2.

З робочого місця «Начальник зміни» вводиться змінне завдання (кількість і черговість подачі моделей кузовів на складальні конвеєри) і проводиться облік випущеної цехом продукції. Також з робочого місця «Начальник зміни» можна спостерігати за технологічним процесом роботи цеху, станом конвеєром і роботою постів обліку. Система адресації кузовів є частиною системи автоматизованого керування цеху збірки. Нормальна робота системи адресації кузовів забезпечується роботою всіх описаних вище компонентів системи автоматизованого керування конвеєрами цеху збірки, своєчасним і коректним введенням необхідної інформації і її подальшою перевіркою. На рисунках 5.3 і 5.4 представлені екранні форми конвеєрів системи кузовів і системи двигунів.

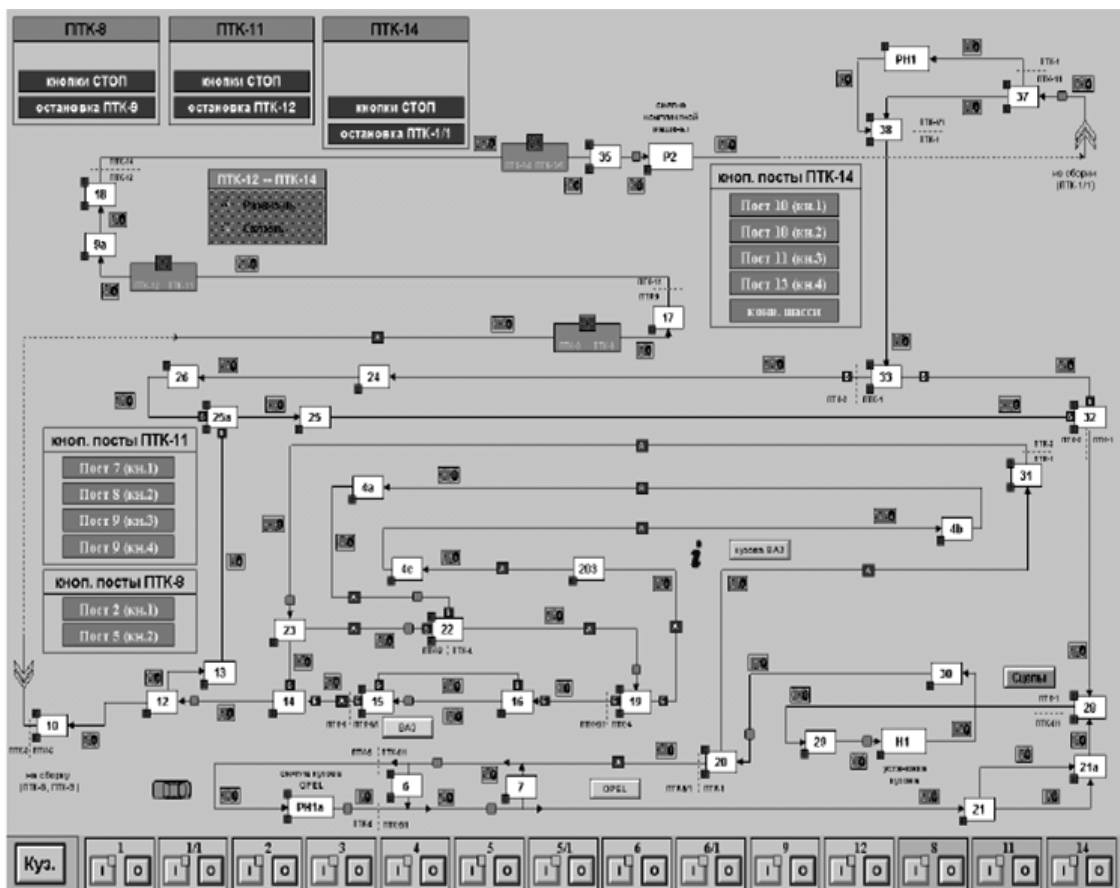


Рисунок 5.3 – Екранна форма WINCC (системи кузовів)

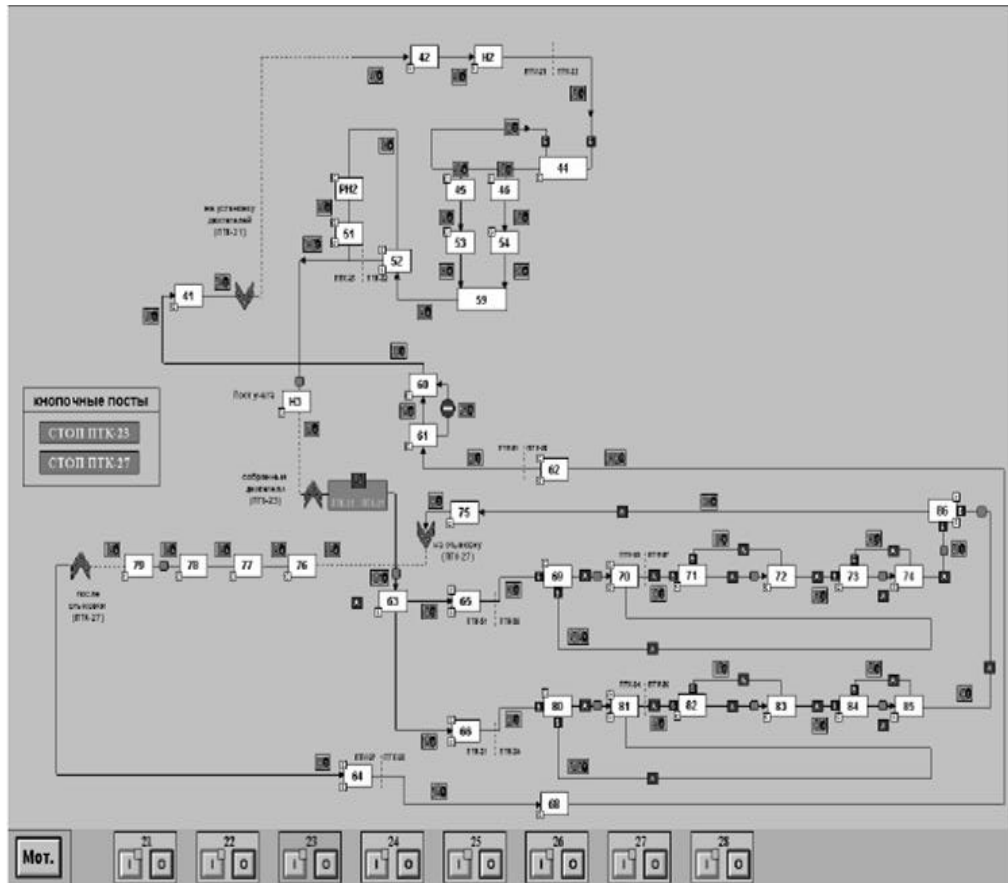


Рисунок 5.4 – Екранна форма WINCC (система двигунів)

5.3 Розрахунок параметрів регуляторів і зворотних зв'язків

5.3.1 Розрахунок передавальних коефіцієнтів

Контур струму налаштований на модульний оптимум. При розрахунку передаточних коефіцієнтів усіх датчиків припускаємо відповідність їх максимального сигналів на вході датчика - вихідному сигналу датчика, рівному 10 В.

Розрахуємо і виберемо датчик струму виходячи з умови:

$$I_{\text{шн}} \geq I_{\text{ном}} = 8,62 \text{ А} \quad (5.1)$$

Виходячи з умові, обираємо шунт типу 10А/75мВ, у якого $I_{\text{шн}} = 10 \text{ А}$.

Розрахуємо передавальний коефіцієнт датчика струму, В/А:

$$K_T = \frac{U_{\text{ВНХ.ДТ}}}{7,5 \cdot I_{\text{НОМ}}} ; \quad (5.2)$$

$$K_T = \frac{10}{7,5 \cdot 8,62} = 0,155 \text{ В/А}. \quad (5.3)$$

Передавальний коефіцієнт датчика швидкості, В·с/рад :

$$K_c = \frac{10}{\omega_{\text{НОМ}}} \quad (5.4)$$

$$K_c = \frac{10}{157} = 0,064 \text{ В·с/рад}. \quad (5.5)$$

Розрахунок передавального коефіцієнта датчика напруги, В/В:

$$k_u = \frac{E_{d0}}{U_{\text{оп.мах}}}, \quad (5.6)$$

$$k_u = \frac{311}{10} = 31 \frac{\text{В}}{\text{В}}. \quad (5.7)$$

5.3.2 Розрахунок регулятора струму

Складається вихідна структурна схема керування для внутрішнього (струмового) контуру:

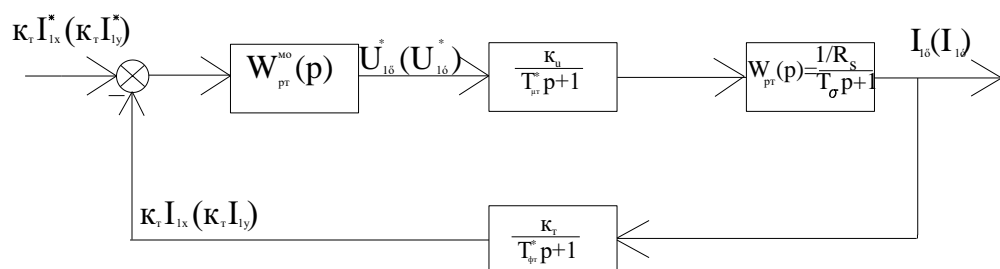


Рисунок 5.12 – Структурна схема контуру струму.

Обираємо бажану настройку контуру струму на МО, яка характеризується результуючою передавальною функцією розімкненого контуру вигляду:

$$W_{\text{ж}}^{\text{МО}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)} . \quad (5.8)$$

На рисунку 5.12 позначені:

- $\kappa_{\text{T}}I_{\text{Lx}}^*$, $\kappa_{\text{T}}I_{\text{Ly}}^*$ - сигнали завдання складової струму статора, що намагнічує і активної;

- $W_{\text{рт}}^{\text{МО}}$ - передавальна функція регулятора струму;

- κ_{u} - передавальний коефіцієнт по напрузі;

- $T_{\mu\text{T}}$ - мала еквівалентна постійна часу контура струму;

- $T_{\mu\text{T}}^*$ - мала постійна часу інвертора;

- $T_{\text{фT}}$ - мала постійна часу фільтру в ланцюзі завдання.

Настройці на модульний оптимум відповідають наступні показники:

- $G = 4.3\%$ - перерегулювання;

- $t_{\text{н}} = 4,7 \cdot T_{\mu}$ - час наростання(час першого узгодження);

- $t_{\text{м}} = 6,3 \cdot T_{\mu}$ - час досягнення максимуму;

- $t_{\text{р}} = 8,4 \cdot T_{\mu}$ - час регулювання (час входження в зону ± 2 процентної помилки);

- $\Delta\varphi = 63^\circ$ - запас за фазою.

Знайдемо сталу часу фільтру в ланцюзі зворотного зв'язку:

$$T_{\text{фT}} = \frac{(2 \div 3) \cdot 10^{-3}}{f_{\text{оп}}} , \quad (5.9)$$

де, $f_{\text{оп}}$ - частота опорної напруги, $f_{\text{оп}} = 10$ Гц.

$$T_{\text{фT}} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{10} = 0.3 \text{ мс} \quad (5.10)$$

Тоді схема контуру струму матиме вигляд:

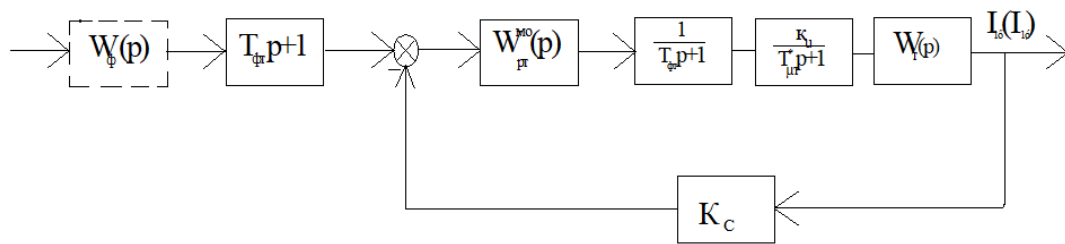


Рисунок 5.13 – Схема контуру струму з фільтром в ланцюзі завдання

Зобразимо замкнений контур керування струму.

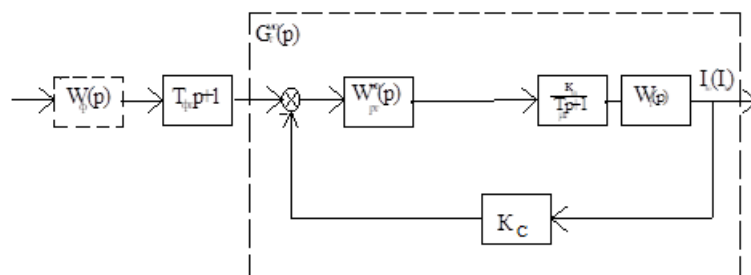


Рисунок 5.14 – Структура замкнутого контуру регулювання струму

Знайдемо еквівалентну малу некомпенсовану сталу часу контуру струму:

$$T_{\mu\Gamma} = T_{\mu\Gamma}^* + T_{\phi\Gamma}, \quad (5.11)$$

де, мала постійна часу інвертора буде рівна:

$$T_{\mu\Gamma}^* = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{f_{оп}} \quad (5.12)$$

$$T_{\mu\Gamma}^* = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{10} = 0,1 \text{ мс.} \quad (5.13)$$

Підставивши значення в (5.11), одержимо:

$$T_{\mu\Gamma} = 0,1 + 0,3 = 0,4 \text{ мс.} \quad (5.14)$$

Бажана передавальна функція замкненого контуру, охопленого одиничним зворотним зв'язком буде мати вигляд:

$$W_{\text{жт}}^{\text{мо}}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\text{мт}} \cdot p \cdot (T_{\text{мт}} p + 1)} = W_{\text{рт}}^{\text{мо}}(p) \cdot \frac{K_u}{T_{\text{мт}} p + 1} \cdot \frac{1}{R_s \cdot (T_{\sigma} p + 1)} \cdot K_T, \quad (5.15)$$

де, R_s - активний опір обмотки статора, $R_s = 0.7384$ Ом;

T_{σ} - електромагнітна постійна часу розсіювання двигуна.

Для розрахунку T_{σ} спочатку розрахуємо параметри двигуна.

Індуктивні опори статора і ротора:

$$X_1 = \frac{2 \cdot X_1' \cdot X_{\mu}}{X_{\mu} + \sqrt{X_{\mu}^2 + 4 \cdot X_1' \cdot X_{\mu}}}, \quad (5.16)$$

$$X_2 = \frac{2 \cdot X_2'' \cdot X_{\mu}}{X_{\mu} + \sqrt{X_{\mu}^2 + 4 \cdot X_2'' \cdot X_{\mu}}}, \quad (5.17)$$

де, X_1' - індуктивний опір розсіювання роторної обмотки, $X_1' = 0,085$ Ом;

- X_2'' - індуктивний опір розсіювання обмотки ротора, $X_2'' = 0,13$ Ом;

- X_{μ} - головний індуктивний опір, $X_{\mu} = 3,0$ Ом.

Тоді індуктивні опори статора і ротора будуть рівні:

$$X_1 = \frac{2 \cdot 0,085 \cdot 3}{3 + \sqrt{3^2 + 4 \cdot 0,085 \cdot 3}} = 0,083 \text{ Ом}, \quad (5.18)$$

$$X_2 = \frac{2 \cdot 0,13 \cdot 3}{3 + \sqrt{3^2 + 4 \cdot 0,13 \cdot 3}} = 0,125 \text{ Ом}. \quad (5.19)$$

Індуктивність розсіювання статора і ротора визначається за формулами:

$$L_{\sigma s} = \frac{X_1}{2\pi \cdot f_1}, \quad (5.20)$$

$$L_{\sigma r} = \frac{X_2}{2\pi \cdot f_1}. \quad (5.21)$$

де, f_1 - частота мережі, $f_1=50$ Гц.

Тоді, підставивши (5.18), (5.19) в (5.20) і (5.21), отримаємо:

$$L_{\sigma s} = \frac{0,083}{2\pi \cdot 50} = 0,00026 \text{ Гн}, \quad (5.22)$$

$$L_{\sigma r} = \frac{0,125}{2\pi \cdot f_1} = 0,0004 \text{ Гн}. \quad (5.23)$$

Сумарна індуктивність розсіювання визначається наступною формулою:

$$L_{\sigma} = L_{\sigma r} + L_{\sigma s}, \quad (5.24)$$

$$L_{\sigma} = 0,00026 + 0,0004 = 0,00066 \text{ Гн}. \quad (5.25)$$

Електромагнітна стала часу розсіювання двигуна буде рівна:

$$T_{\sigma} = \frac{L_{\sigma}}{R_s}, \quad (5.26)$$

$$T_{\sigma} = \frac{0,00066}{0,7384} = 0,00089 \text{ мс}. \quad (5.27)$$

Розрахуємо передаточну функцію $W_{\text{рт}}^{\text{МО}}(p)$ регулятора струму, що забезпечує настройку контуру струму на МО:

ПІ - регулятор.

$$W_{\text{пр}}^{\text{мо}}(p) = \frac{1 \cdot (T_{\mu\Gamma}p + 1) \cdot R_s \cdot (T_{\sigma}p + 1)}{2 \cdot T_{\mu\Gamma}p \cdot (T_{\mu\Gamma}p + 1) \cdot K_u \cdot K_T} = \frac{T_{\sigma}p + 1}{\left(\frac{2 \cdot T_{\mu\Gamma} \cdot K_u \cdot K_T}{R_s} \right) p}, \quad (5.28)$$

$$W_{\text{пр}}^{\text{мо}}(p) = \frac{0,00089p + 1}{\left(\frac{2 \cdot 0,4 \cdot 31 \cdot 0,155}{0,7384} \right) p} = \frac{0,00089p + 1}{0,052p}. \quad (5.29)$$

Передаюча функція замкнутого контуру струму:

$$G_T^{\text{мо}}(p) = \frac{W_{\text{жт}}^{\text{мо}}}{W_{\text{жт}}^{\text{мо}} \cdot p + 1} \cdot K_T = \frac{1 / K_T}{2 \cdot T_{\mu\Gamma}^2 p^2 + 2 \cdot T_{\mu\Gamma} p + 1}, \quad (5.30)$$

$$G_T^{\text{мо}}(p) = \frac{1 / 0,155}{2 \cdot 0,4^2 p^2 + 2 \cdot 0,4 \cdot p + 1} = \frac{6,45}{0,32p^2 + 0,8 \cdot p + 1}. \quad (5.31)$$

5.3.3 Розрахунок регулятора швидкості

Розрахунок регулятора швидкості з налаштуванням на симетричний оптимум починаємо зі складання початкової структурної схеми контуру регулювання швидкості:

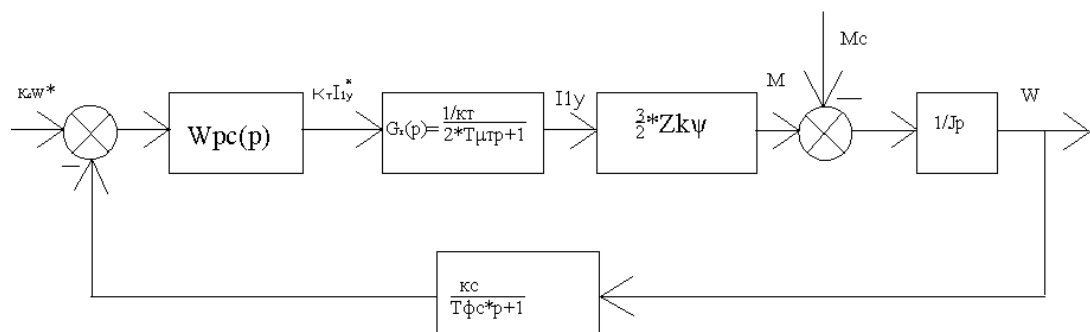


Рисунок 5.15 – Структурна схема контуру регулювання швидкості

Контур швидкості у колі зворотнього зв'язку має датчик швидкості ротора двигуна та виконавчого механізму. На сьогоднішній день широко застосовуються регульовані приводи без датчиків швидкості, у яких

інформація про швидкість обертання розраховується, а не виміряється безпосередньо. Тому при дослідженні динамічних процесів привода буде розглянута система без датчика швидкості.

Настройка контуру швидкості на симетричний оптим (СО) характеризується результуючою передавальною функцією розімкненого контуру (охопленого одиничним зворотним зв'язком) :

$$W_{\text{жрс}}^{\text{co}}(p) = W_{\text{жрс}}^{\text{mo}}(p) \cdot \frac{4 \cdot T_{\text{мс}} \cdot p + 1}{4 \cdot T_{\text{мс}} \cdot p} = \frac{4 \cdot T_{\text{мс}} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\text{мс}}^2 \cdot p^2 (4 \cdot T_{\text{мс}} \cdot p + 1)} =$$

$$= W_{\text{рс}}^{\text{co}}(p) \cdot \frac{1}{k_{\text{т}} \cdot (T_{\text{мс}} \cdot p + 1)} \cdot \frac{3}{2} \cdot z \cdot k \cdot \psi_{\text{р}} \cdot \frac{1}{J \cdot p} \cdot k_{\text{с}}, \quad (5.32)$$

де, - $T_{\text{мс}}$ - мала (що не компенсується) постійна часу контуру швидкості,
 $T_{\text{мс}} = 2 \cdot T_{\text{мт}} = 0,8 \text{ мс};$

- z - число пар полюсів машини, $z=2$;
- k - коефіцієнт приведення (зв'язку) ротора;
- $\psi_{\text{р}}$ - потокозчеплення ротора машини;
- J - момент інерції двигуна, $J = 0.0313 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Розрахуємо коефіцієнт приведення ротора:

$$k = \frac{L_{\text{м}}}{L_{\text{м}} + L_{\text{сг}}}, \quad (5.33)$$

де, $L_{\text{м}}$ - індуктивність намагнічування машини, $L_{\text{м}} = 0,1241 \text{ Гн}$.

Тоді коефіцієнт приведення буде рівний:

$$k = \frac{0,1241}{0,1241 + 0,0004} = 0,98. \quad (5.34)$$

Потокозчеплення ротора розрахуємо по формулі:

$$\psi_r = L_m \cdot I_{lx}, \quad (5.35)$$

де, I_{lx} - складова струму статора, що намагнічує, $I_{lx} = 45\% \cdot I_{ном} = 3,88$ А.

Підставивши значення у формулу потокозчеплення, одержимо:

$$\psi_r = 0,1241 \cdot 3,88 = 0,481 \text{ Вб}. \quad (5.36)$$

Виходячи із структурної схеми регулювання контуру швидкості на рисунку 3.15, розрахуємо передавальну функцію регулятора швидкості (без урахування фільтру у колі зворотного зв'язку) з настройкою на СО:

$$\begin{aligned} W_{pc}^{co}(p) &= \frac{(4 \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1) \cdot \kappa_T \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1) \cdot 2 \cdot J \cdot p}{8 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1) \cdot 3 \cdot z \cdot \kappa \cdot \psi_r \cdot \kappa_c} = \\ &= \frac{4 \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1}{\left(\frac{12 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot z \cdot \kappa \cdot \psi_r \cdot \kappa_c}{J \cdot \kappa_T} \right) \cdot p} \end{aligned} \quad (5.37)$$

- пропорційно-інтегральний регулятор.

$$W_{pc}^{co}(p) = \frac{4 \cdot 0,8 \cdot p + 1}{\left(\frac{12 \cdot 0,8^2 \cdot 2 \cdot 0,98 \cdot 0,481 \cdot 0,064}{0,0343 \cdot 0,155} \right) \cdot p} = \frac{3,2 \cdot p + 1}{87,16p}. \quad (5.38)$$

Схема контуру регулювання швидкості з фільтром у колі завдання:

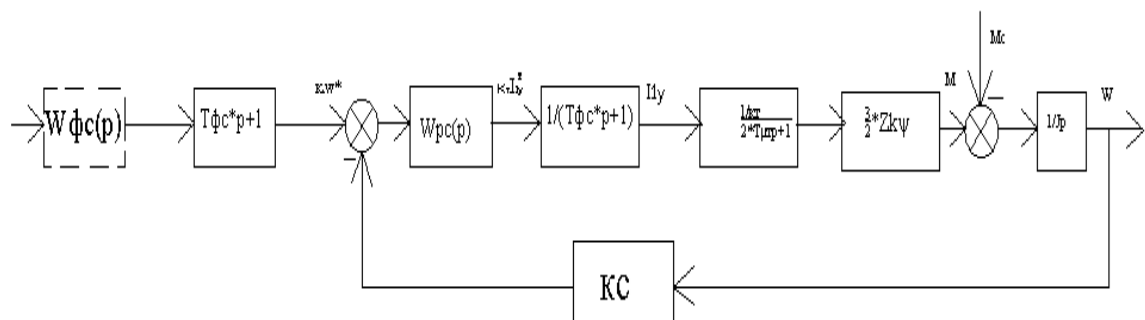


Рисунок 5.16 – Структурна схема контуру регулювання швидкості з фільтром у колі завдання

Перетворена структурна схема із замкненим контуром регулювання швидкості має вигляд:

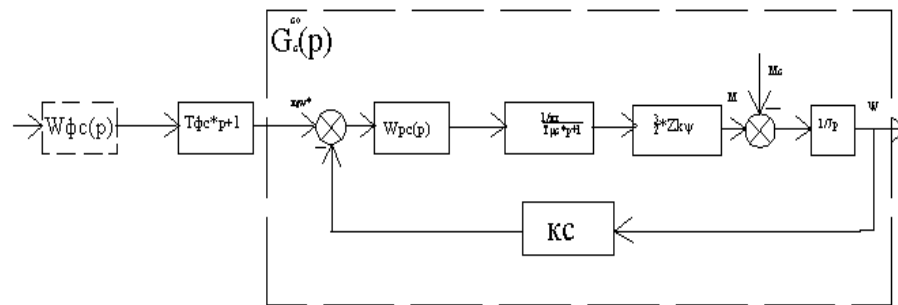


Рисунок 5.17 – Структурна схема замкнутого контуру регулювання швидкості з фільтром в колі завдання

Передавальна функція контуру швидкості з настройкою на СО з фільтром у колі завдання дорівнює:

$$G_c^{\text{соф}}(p) = \frac{1/k_c}{8 \cdot T_{\mu c}^3 \cdot p^3 + 8 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^2 + 4 \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1}, \quad (5.39)$$

$$\begin{aligned} G_c^{\text{соф}}(p) &= \frac{1/0,064}{8 \cdot 0,8^3 \cdot p^3 + 8 \cdot 0,8^2 \cdot p^2 + 4 \cdot 0,8 \cdot p + 1} = \\ &= \frac{15,625}{4,096 \cdot p^3 + 5,12 \cdot p^2 + 3,2 \cdot p + 1}. \end{aligned} \quad (5.40)$$

Настройці на симетричний оптимум відповідають наступні показники:

- $G = 8,1 \%$ - перерегулювання;
- $t_n = 7,6 \cdot T_{\mu}$ - час зростання (час першого узгодження);
- $t_p = 13,3 \cdot T_{\mu}$ - час регулювання (час входження в зону ± 2 процентної помилки);
- $\Delta\phi = 37^\circ$ - запас за фазою.

Для системи автоматизованого керування швидкістю з настройкою на симетричний оптимум властива нульова статична помилка за швидкістю (як по

керуванню, так і по збуренню по навантаженню). При цьому система автоматизованого керування швидкості з настройкою на симетричний оптім володіє астатичними властивостями (регулювання швидкості здійснює без помилки).

5.4 Автоматизація технологічного процесу збирання автомобілів

Здійснимо автоматизацію процесу точного позиціонування платформи штовхаючого конвеєра за умов гасіння коливань, які виникають на початку і в кінці процесу руху. Установка може здійснювати коливання з заданою частотою в межах 24° (розгін та гальмування). Для керування цим процесом застосований давач положення (на принциповій схемі – ДП). В ключових точках руху давач положення видає сигнали які відповідають кутовому положенню платформи на момент подачі сигнала і мають слугувати сигналами на зупинку або реверс привода. Для керування установкою передбачені кнопки «Пуск» і «Стоп».

Присвоїмо назви вхідних змінних:

a – Пуск;

b – Стоп;

0p – Сигнал від давача положення: положення – 0° ;

4p – Сигнал від давача положення: положення – 4° в додатну сторону від вертикального положення;

4n – Сигнал від давача положення: положення – 4° у від'ємну сторону від вертикального положення;

20p – Сигнал від давача положення: положення – 20° в додатну сторону від вертикального положення;

20n – Сигнал від давача положення: положення – 20° у від'ємну сторону від вертикального положення.

Вихідні змінні:

Dir – завдання на напрямок обертання приводу (01 – обертання в додатну сторону від вертикального положення; 10 – обертання у від'ємну сторону від вертикального положення);

RW – режим роботи приводу (01 – рушійний режим; 10 – гальмівний режим; 11 – реверс);

BR – привод механічного фіксатора (0 – зафіксовано; 1 – не зафіксовано).

Сформулюємо алгоритм, який має відпрацьовуватися установкою.

При натисканні кнопки «Пуск» привод починає рухатись в додатну сторону від початкового положення. При надходженні сигналу «20р» вмикається реверс і привод починає рух у від'ємну сторону від початкового положення. При надходженні сигналу «20п» вмикається реверс і привод починає рух в додатну сторону від початкового положення і так по колу поки не надійде команда «Стоп».

Якщо команда «Стоп» надходить коли привод знаходиться в додатній стороні від початкового положення подається команда на обертання у від'ємну сторону від початкового положення. При надходженні сигналу «4р» привод переходить в гальмівний режим. При надходженні сигналу «0р» вмикається привод механічного фіксатора.

Якщо команда «Стоп» надходить коли привод знаходиться у від'ємній стороні від початкового положення подається команда на обертання в додатну сторону від початкового положення. При надходженні сигналу «4п» привод переходить в гальмівний режим. При надходженні сигналу «0р» вмикається привод механічного фіксатора.

Виконаємо синтез метотом графопереходу на RS-тригерах. Графоперехід для заданого алгоритму зображений на рис. 5.18.

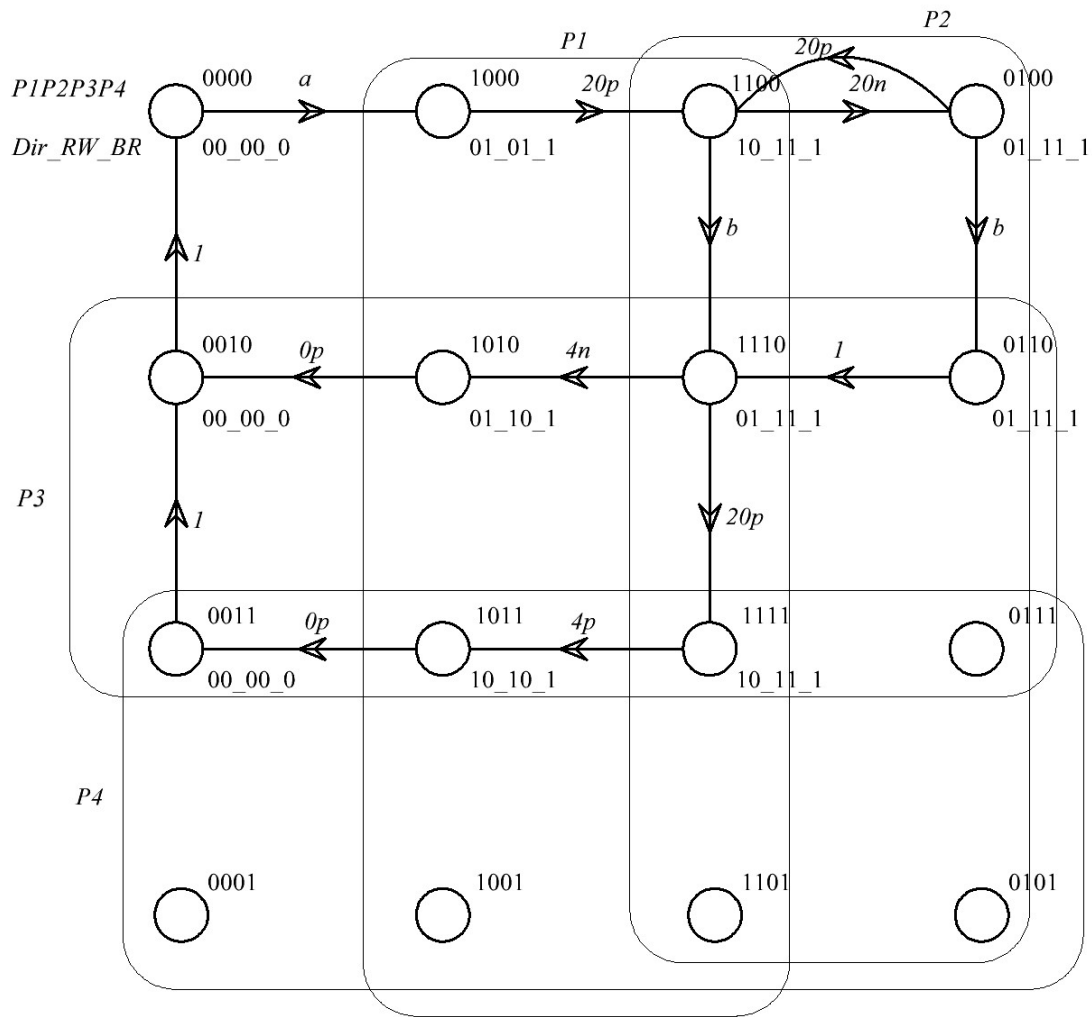


Рисунок 5.18 – Графоперехід

Умови вмикання та скидання тригерів:

$$Sp1 = a \cdot \overline{p2} \cdot \overline{p3} \cdot \overline{p4} + p2 \cdot p3 \cdot \overline{p4} + 20p \cdot p2 \cdot \overline{p3} \cdot \overline{p4} \quad (5.41)$$

$$Sp2 = 20p \cdot p1 \cdot \overline{p3} \cdot \overline{p4} \quad (5.42)$$

$$Sp3 = b \cdot \overline{p1} \cdot p2 \cdot \overline{p4} + b \cdot p1 \cdot p2 \cdot \overline{p4} \quad (5.43)$$

$$Sp4 = 20p \cdot p1 \cdot p2 \cdot p3 \quad (5.44)$$

$$Rp1 = 20n \cdot p2 \cdot \overline{p3} \cdot \overline{p4} + 0p \cdot \overline{p2} \cdot p3 \cdot \overline{p4} + 0p \cdot \overline{p2} \cdot p3 \cdot p4 \quad (5.45)$$

$$Rp2 = 4n \cdot p1 \cdot p3 \cdot \overline{p4} + 4p \cdot p1 \cdot p3 \cdot p4 \quad (5.46)$$

$$Rp3 = \overline{p1} \cdot \overline{p2} \cdot \overline{p4} \quad (5.47)$$

$$Rp4 = \overline{p1} \cdot \overline{p2} \cdot p3 \quad (5.48)$$

Рівняння для таймерів та вихідних змінних:

$$Dir(01) = xy = p1 \cdot \overline{p2} \cdot \overline{p4} + p1 \cdot p3 \cdot \overline{p4} + \overline{p1} \cdot p2 \cdot \overline{p4} \quad (5.49)$$

$$Dir(10) = yx = p1 \cdot p2 \cdot \overline{p3} \cdot \overline{p4} + p1 \cdot p3 \cdot p4 \quad (5.50)$$

$$RW(01) = xz = p1 \cdot \overline{p2} \cdot \overline{p3} \cdot \overline{p4} \quad (5.51)$$

$$RW(10) = zx = p1 \cdot \overline{p2} \cdot p3 \quad (5.52)$$

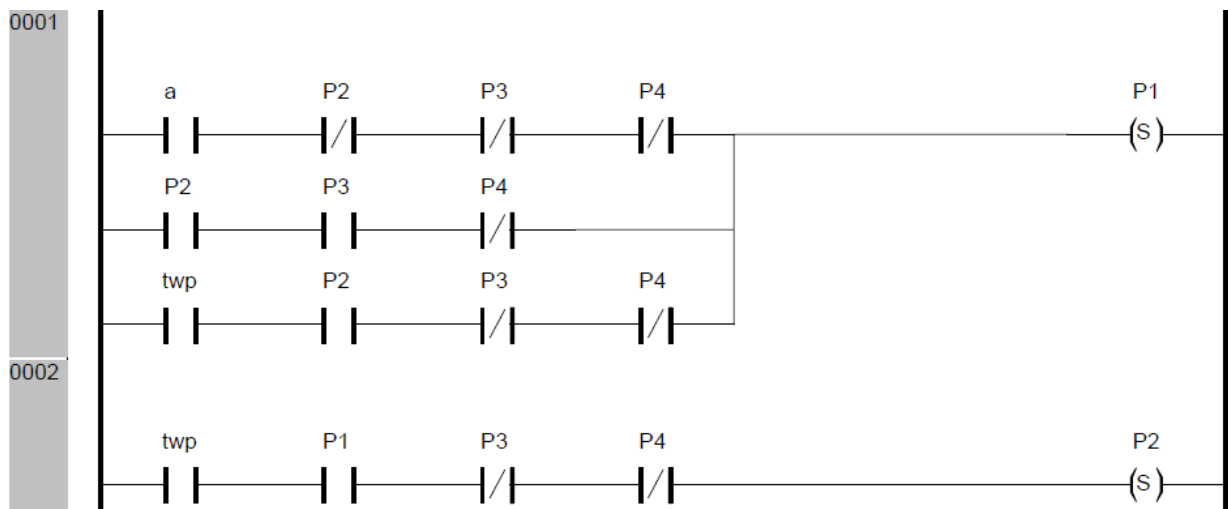
$$RW(11) = zz = p2 \cdot \overline{p4} + p1 \cdot p2 \cdot p3 \quad (5.53)$$

$$BR = p1 \cdot \overline{p4} + p2 \cdot \overline{p4} + p1 \cdot p3 \quad (5.54)$$

На рисунках нижче надана програма на мові LD.

| | |
|------|-----------------|
| 0001 | PROGRAM PLC_PRG |
| 0002 | VAR |
| 0003 | P1: BOOL; |
| 0004 | P4: BOOL; |
| 0005 | P3: BOOL; |
| 0006 | P2: BOOL; |
| 0007 | a: BOOL; |
| 0008 | twp: BOOL; |
| 0009 | b: BOOL; |
| 0010 | twm: BOOL; |
| 0011 | zp: BOOL; |
| 0012 | fn: BOOL; |
| 0013 | fp: BOOL; |
| 0014 | xy: BOOL; |
| 0015 | yx: BOOL; |
| 0016 | xz: BOOL; |
| 0017 | zx: BOOL; |
| 0018 | zz: BOOL; |
| 0019 | BR: BOOL; |
| 0020 | END_VAR |

Рисунок 5.19 – Оголошення змінних



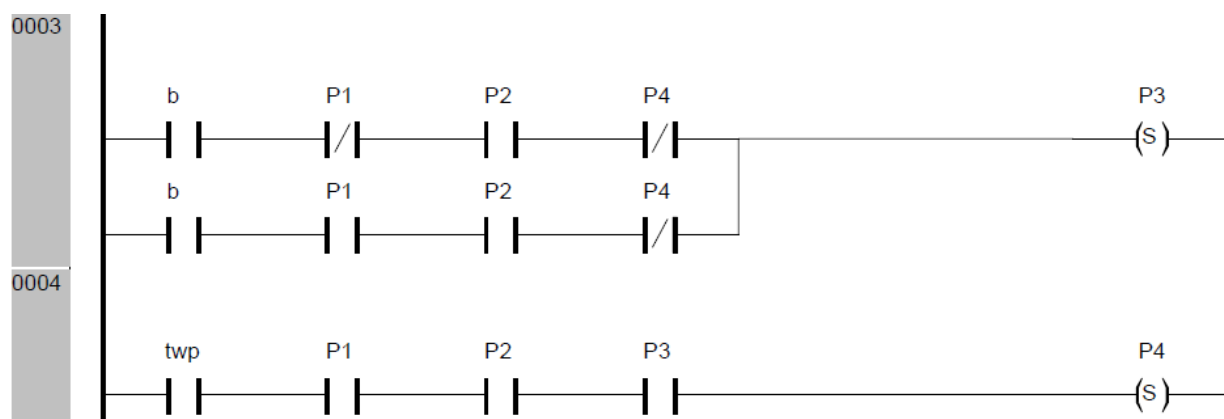


Рисунок 5.20 – Програма

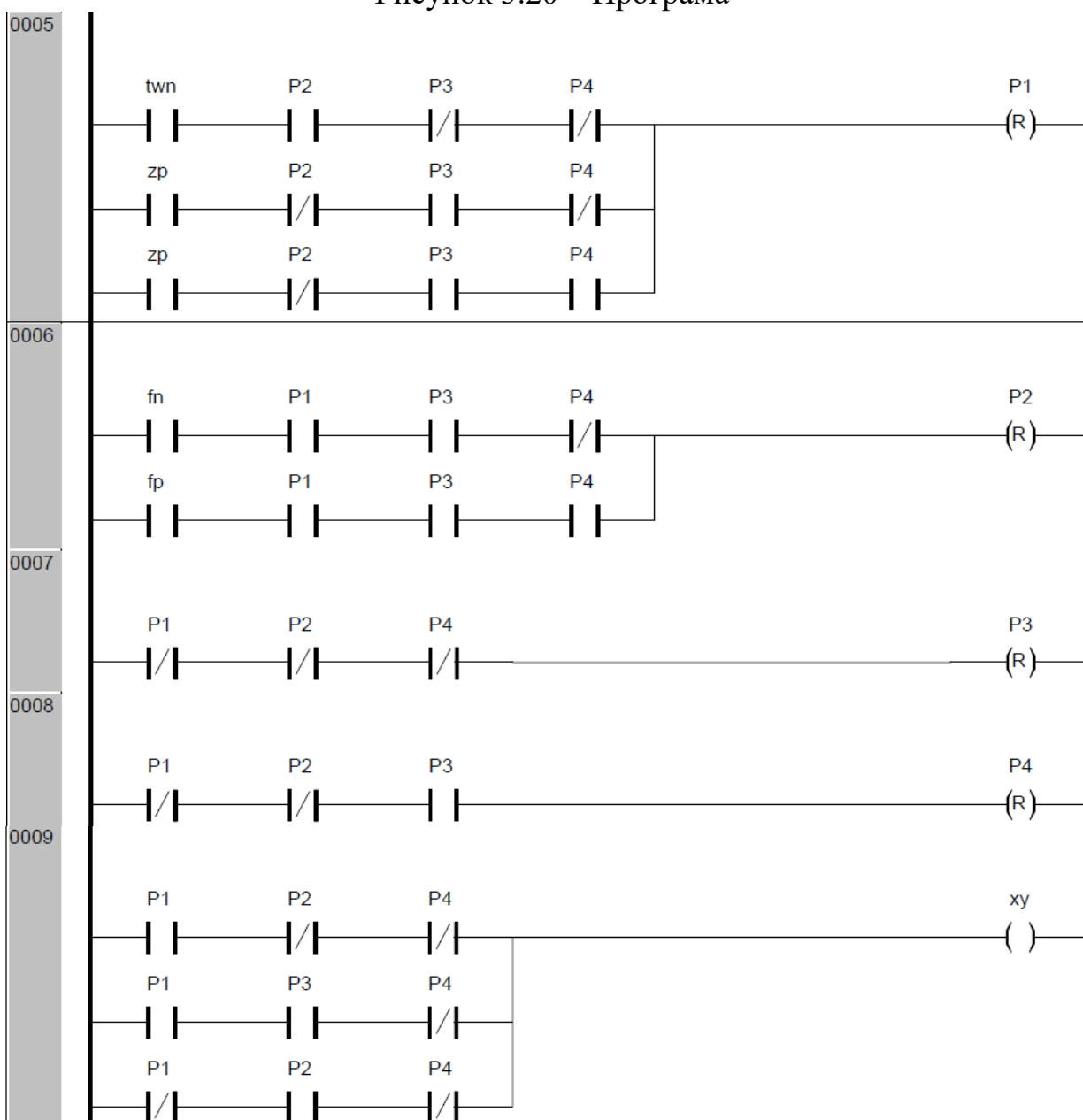


Рисунок 5.21 – Програма (продовження)

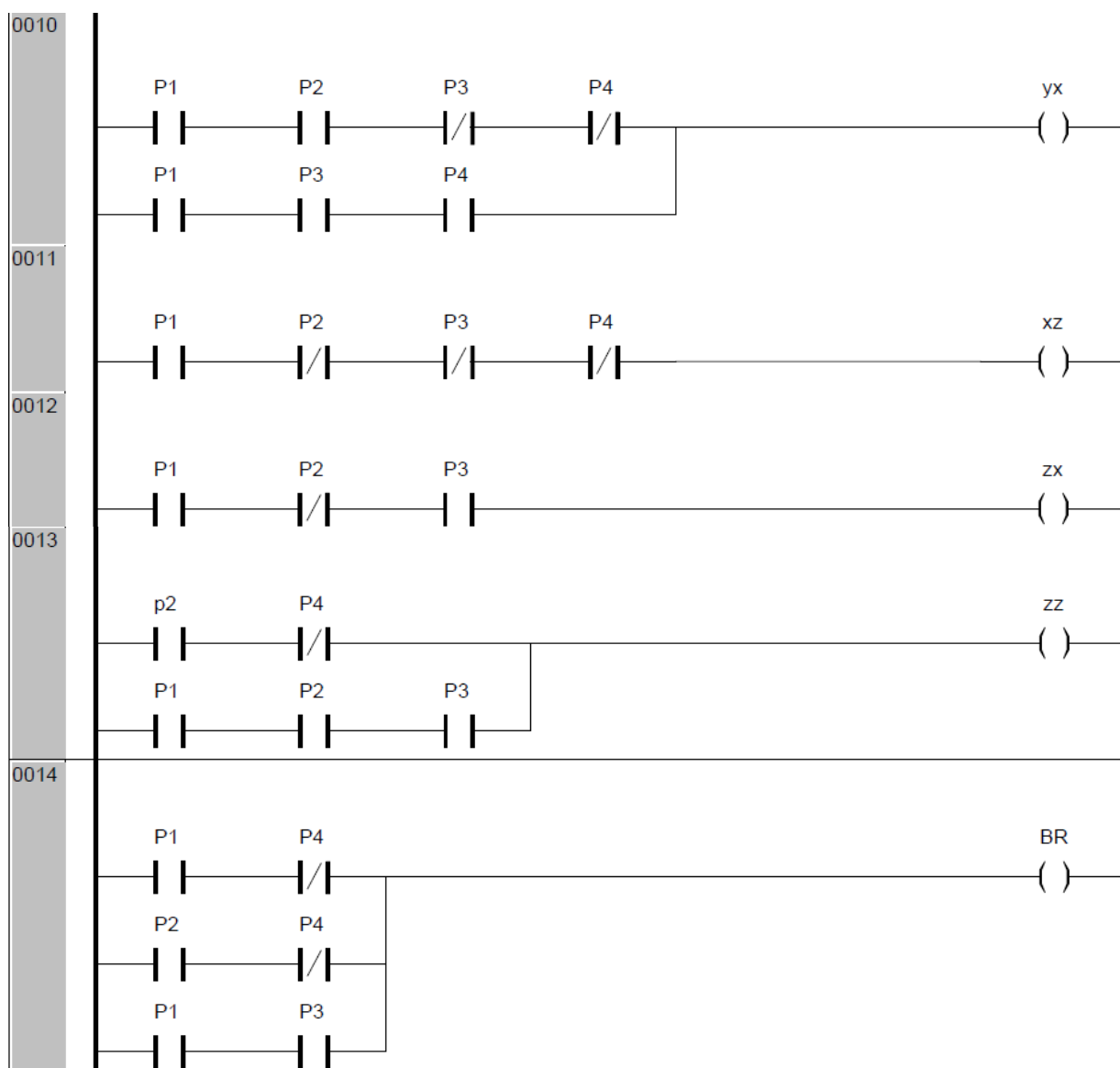


Рисунок 5.22 – Програма (продовження)

Висновки до розділу 5

1. Було розглянуто принцип роботи регульованого електропривода, проведений структурно-параметричний синтез системи керування, розраховані параметри регуляторів і зворотних зв'язків.
4. В результаті синтезу системи автоматизації позиціонування візка штовхаючого конвеєра була отримана програма на мові LD для керування платформою. Програма обробляє сигнали давача положення і видає команди на зміну режиму роботи. Таким чином буде забезпечено максимальну точність відпрацювання.

6 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИВОДУ

6.1 Модель електропривода конвеєра

Для керування частотою обертання асинхронного двигуна підвісного штовхаючого конвеєра використовується перетворювач частоти. У перетворювачі застосовується частотне керування двигуном. Сам перетворювач керується мікропроцесором.

Частотне керування або векторне керування без датчика швидкості використовується для однодвигуневих приводів з асинхронними двигунами при необхідному діапазоні регулювання 1:1000 в приводах з великою споживаною потужністю, а також в керуванні конвеєрами різних типів.

Тому в MATLAB з використанням силових блоків, з урахуванням частотного принципу керування, а також вибраного перетворювача частоти, асинхронного двигуна 4A180S4Y3, а також з урахуванням навантаження на конвеєрі була розроблена структура системи керування наступного вигляду:

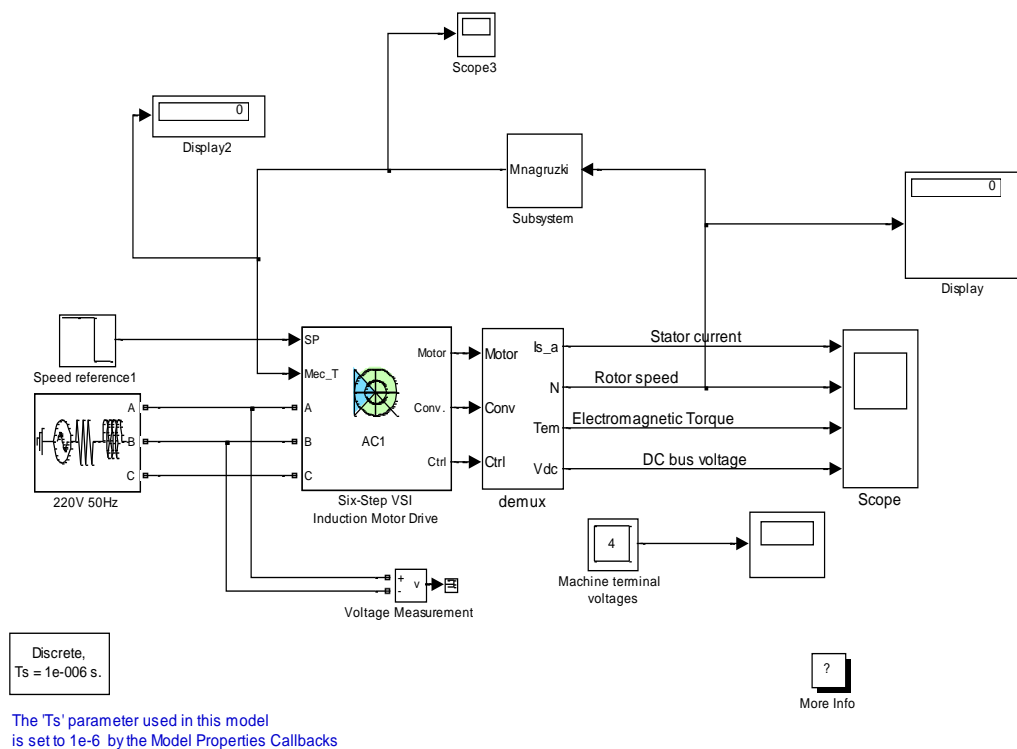


Рисунок 6.1 – Імітаційна модель приводу ПШК в MATLAB

Для створення моделі асинхронного електропривода використовуємо стандартні функції Matlab та стандартні блоки SimPowerSystem.

У даній моделі напруга на привод подається від джерела змінної напруги 220 В з частотою 50 Гц.

Завдання на швидкість задаємо ступінчастим сигналом. У зв'язку з наявністю задатчика інтенсивності на вході системи керування реальний вхідний сигнал має трапецеїдальну форму, тому і відпрацювання контуру швидкості відповідає цьому завданню, що показано на рисунку 6.5, б).

Структура приводу змінного струму представлена блоком AC1:

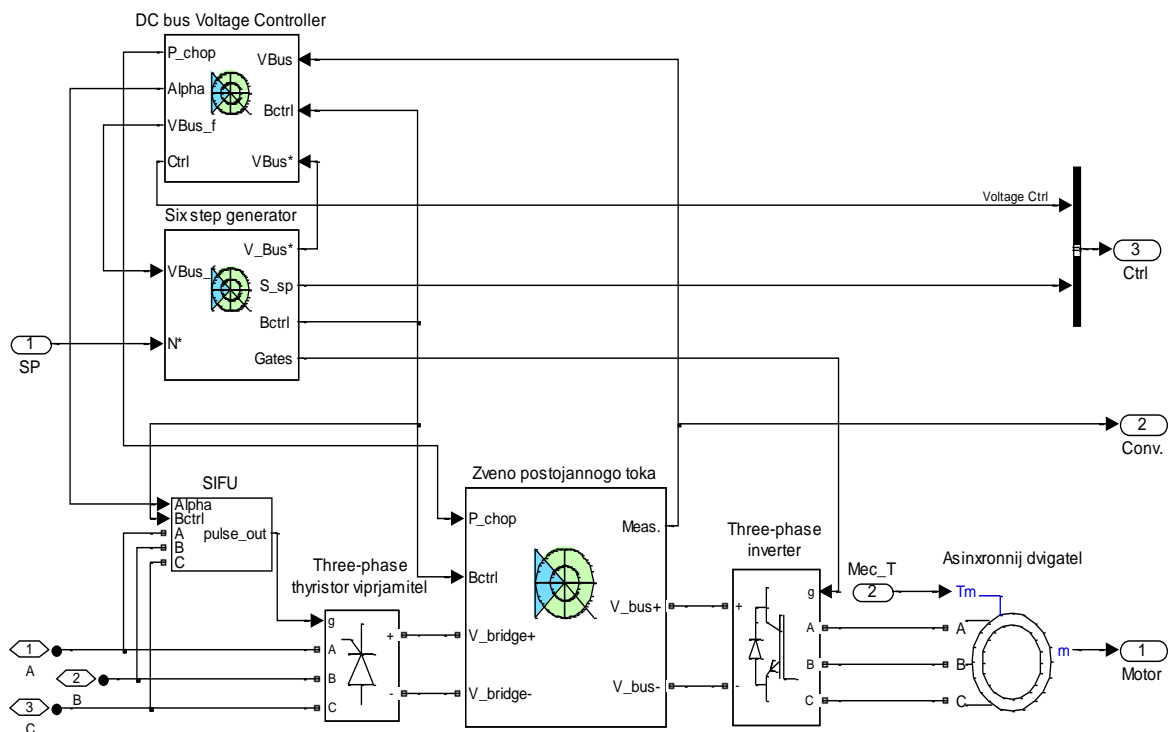


Рисунок 6.2 – Структура асинхронного приводу

До складу приводу входить керований випрямляч, ланка постійного струму з фільтром та гальмівним резистором, інвертор, асинхронний двигун потужністю 7,5 кВт (параметри двигуна представлені на рисунку 6.3), система керування контурами струму і швидкості, пристрій керування тиристорами і IGBT-модулями.

Block Parameters: Asinxronnij dvigatel

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor or squirrel cage) modeled in the dq rotor reference frame. Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point. You can specify initial values for stator and rotor currents or for the stator current only.

Parameters

Preset model: 16: 10 HP (7.5KW) 400 V 50Hz 1440 RPM

☒ Show detailed parameters

Rotor type: Squirrel-cage

Reference frame: Stationary

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(W), Vn(Vrms), fn(Hz)]:

[7500 400 50]

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]:

[0.7384 0.003045]

Rotor resistance and inductance [Rr(ohm) Llr(H)]:

[0.7402 0.003045]

Mutual inductance Lm (H):

0.1241

Inertia, friction factor and pairs of poles [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]:

[0.0343 0.000503 2]

Initial conditions

[1,0,0,0,0,0,0]

OK Cancel Help Apply

Рисунок 6.3 – Параметри двигуна 4A180S4У3

Момент опору (вхід $M_{ес_т}$ блоку АС1) обчислюється програмним шляхом через частоту обертання ротора двигуна. Навантаження приводу залежить від завантаженості конвеєра. Момент навантаження складається з двох складових:

- момент опору холостого ходу конвеєра (за відсутності вантажу, що транспортується);
- момент опору з урахуванням завантаженості конвеєра.

Момент опору холостого ходу при незавантаженому конвеєрі обумовлений власною масою деталей ПШК та дорівнює:

$$M_{cxx} = 0,5 \cdot k_1 \cdot n_{\text{ном}} \quad (6.1)$$

де, k_1 - конструктивний коефіцієнт, $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{об} / \text{хв}}$;

$n_{\text{ном}}$ - номінальна частота обертання ротора двигуна, $n_{\text{ном}} = 1450 \text{ об/хв}$.

Друга складова моменту навантаження прямопропорційно залежить від завантаженості конвеєра:

$$M_{cl} = 0,5 \cdot k_2 \cdot n_{\text{ном}} \cdot m_{\Gamma}, \quad (6.2)$$

де, k_2 конструктивний коефіцієнт, $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot \text{об} / \text{хв}}$;

m_{Γ} - маса вантажу на конвеєрі, кг

Оскільки ми розглядаємо роботу транспортера лінії складання кузовів, то можемо обчислити масу вантажу на конвеєрі за наступною формулою:

$$m_{\Gamma} = m_0 \cdot n, \quad (6.3)$$

де, m_0 - маса одного кузова, $m_0 = 370$ кг;

n - кількість кузовів на конвеєрі, $n = 1 \dots 14$ шт.

Структура блоку Mnaग्रuzki показана на рисунку 6.4.

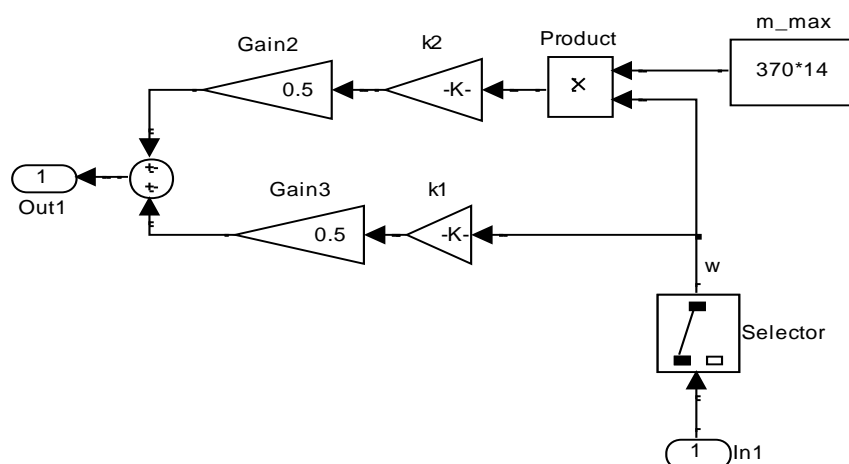


Рисунок 6.4 – Структура підсистеми моменту навантаження.

6.2 Дослідження динамічних процесів електропривода

Використовуючи параметри контурів струму і швидкості, початкові параметри двигуна, перетворювача частоти, завдання на швидкість, а також момент навантаження, підставимо ці значення в розроблену модель.

Промодельовав одержану структуру привода, розглянемо отримані результати (рисунок 6.5).

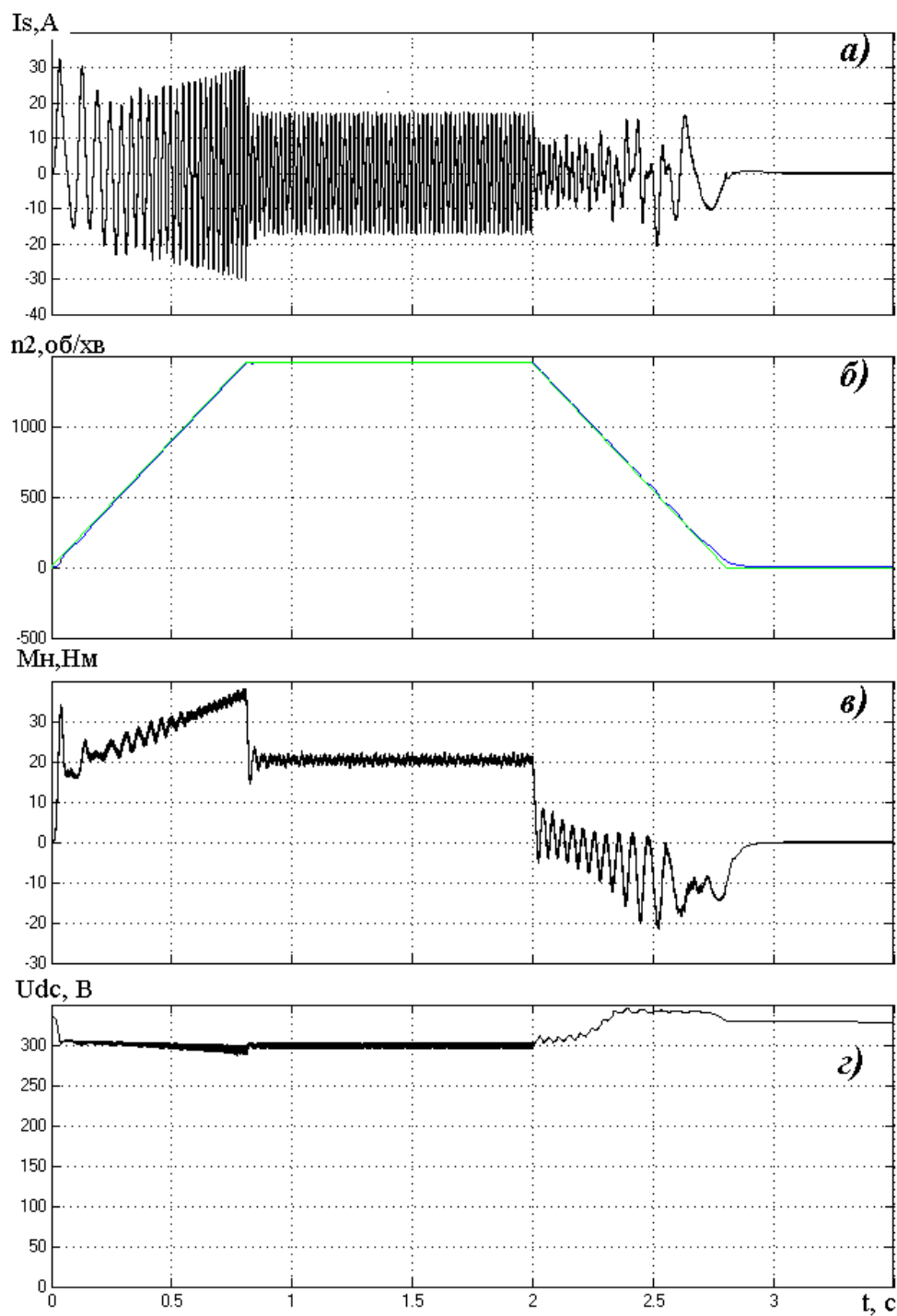
На рисунку 6.5, а наведений перехідний процес у колі струму статора, який задовольняє умовам технологічного процесу.

На рисунку 6.5, б наведені завдання частоти обертання ротора двигуна та реальна частота обертання ротора. Як видно з графіка відпрацювання частоти обертання, та як наслідок швидкості обертання ротора, проходить з високою точністю, що задовольняє умовам роботи підвісного штовхаючого конвеєра.

Момент навантаження та напруга ланки постійного струму (рисунок 6.5, в та г) також відображають реальний перехідний процес у системі електропривода.

Отримані перехідні процеси приводу підтверджують адекватність роботі електропривода ПШК.

Розглянута структура електропривода на силових блоках бібліотеки SimPowerSystem дозволяє ретельно дослідити роботу всієї системи приводу, її складових частин, аж до струму та напруги на кожному ключі. Це значно спрощує процес керування, дослідження та обслуговування системі приводу.



а) струм статора $I_s=f(t)$;

б) частоті обертання ротора двигуна $n_s=f(t)$;

в) моменту навантаження $M=f(t)$;

г) напруга у ланці постійного струму $U_{dc}=f(t)$.

Рисунок 6.5 – Динамічні процеси приводу.

Висновки до розділу 6

1. Шляхом моделювання було проведено дослідження динамічних процесів електропривода в середовищі MatLab.
2. Були досліджені динамічні навантаження в підвісному штовхаючому конвеєрі на моделі, що враховує вплив окремих вантажних одиниць. Проделювавши одержану структуру привода, отримали перехідний процес у колі струму статора який задовольняє умовам технологічного процесу.
3. Як видно з графіка відпрацювання частоти обертання, та як наслідок швидкості обертання ротора, проходить з високою точністю, що задовольняє умовам роботи підвісного штовхаючого конвеєра.
4. Отримані перехідні процеси приводу підтверджують адекватність роботі електропривода ПШК.

ВИСНОВКИ

1. У даному дипломному проекті була здійснена модернізація електроприводу підвісного штовхаючого конвейєра для цеху збирання автомобілів.

2. Проаналізовані галузі використання та типові технічні рішення з автоматизації процесів складання автомобілів. Розглянуті системи електроприводів штовхаючих підвісних конвеєрів та здійснено опис технологічного процесу складання автомобілів на штовхаючому конвеєрі. Сформульовані вимоги до електроприводу та системи керування. Отримані результати дозволили здійснити проектування системи автоматизованого електроприводу підвісного штовхаючого конвеєра.

3. За розрахунками потрібного моменту та швидкості електродвигуна обрано асинхронний двигун 4A180S4Y3 потужністю 22 кВт. Було здійснено вибір необхідного силового обладнання для електроприводу штовхаючого конвеєру.

4. Розраховані статичні характеристики системи регульованого електроприводу.

5. Розглянуто принцип роботи автоматизованого електроприводу та проведений структурно-параметричний синтез системи керування.

5. Здійснена автоматизація технологічного процесу роботи конвеєра. Отримана програма на мові LD для керування платформою. Програма обробляє сигнали давача положення і видає команди на зміну режиму роботи, що забезпечує максимальну точність позиціонування.

6. Використовуючи програмне забезпечення MatLab здійснено моделювання та досліджено динамічні процеси електропривода. Отримані результати засвідчили працездатність розробленої системи електроприводу і її відповідність завданню на проектування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Електродвигун ABB M2AA 180 MLB4 URL:
<https://ovk.ua/shop/product/elektrodivigatel-trehfaznyi-abb-m2aa-180-mlb4-22-kvt-1500-ob-min>
2. Двигун 4A180S4УЗ: конвейеры - справочник - под общ. ред. Ю.А. Пертена - машиностроение - 1984 - 367 С
3. Конічно-циліндричний редуктор типу CMB633 URL:
<https://www.svaltera.ua/catalog/1004/3252.php>
4. Модуль FGH40T120SMD виробника Fairchild Semiconductor URL:
<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/fgh40t120smd-d.pdf>
5. Трифазний мостовий випрямляч 78-VS-70MT160P-P виробника Vishay Semiconductors URL:
<https://eu.mouser.com/ProductDetail/Vishay-Semiconductors/VS-70MT160P-P?qs=3SS1MhAOHqr%2FFXYcONeS5Fw%3D%3D>
6. Конденсатор 3BSE051923G3131 виробника ABB URL:
<https://new.abb.com/products/ru/3BSE051923G3131/capacitor-10-mf-750-vac-film-capacitor>
7. Конденсатор FFLR6K0168KJE URL:
<https://eu.mouser.com/ProductDetail/AVX/FFLR6K0168KJE?qs=eP2BKZSCXI7TcFbzVUg6rA%3D%3D>
8. резистор WSR2R5200FEA виробника Vishay / Dale URL:
<https://eu.mouser.com/ProductDetail/Vishay-Dale/WSR2R5200FEA?qs=PUEz8%2FWD9fX9Stfh%252bSoksA%3D%3D>
9. Перетворювач частоти ACS550-01-05F-4 фірми ABB URL:
<https://220volt.com.ua/preobrazovatel-chastoti-abb-ac550-01-038a-4/>
10. Контакттор ABB серії AF80-30-00-133P URL:
<https://220volt.com.ua/kontaktor-abb-af-80-30-00-13-1sbl397001r1300/>
11. Автоматичний вимикач фірми ABB серії BMS413C63 URL:
<https://myvolt.ua/bms413c63-abb-avtomaticheskii-vyklyuchatel>

12. Запобіжник типу OFAA000GG100 URL: <http://www.trevis-vvk.com/produkciya/plavkie-predoxraniteli/plavkie-vstavki-predoxraniteli-abb/predohranitel-ofaa000gg100-100a-tip-gg-razmer000-do-690v.html>
13. Блок живлення фірми ABB серії CP-D 24/4 URL: <https://electrotechnics.com.ua/p690665983-impulsnyj-istochnik-pitaniya.html>
14. ПЛК ABB AC700F URL: <http://novitech.com.ua/programmiruemye-logicheskie-kontrollery/abb/ac700f>
15. Hyperline TWM-0945-GR-RAL9004 Шафа настінна, 501x600x450 URL: [https://www.hyperline.ru/catalog/shkafy-i-stoyki/telekommunikatsionnye-servernye/nastennye-shkafy/nastennyy-19-shkaf-twb/hyperline-twb-0945-gp-ral9004-shkaf-nastennyy-19-dyuymovyy-19-9u-500x600kh450mm-steklyannaya-dver-s-/](https://www.hyperline.ru/catalog/shkafy-i-stoyki/telekommunikatsionnye-servernye/nastennye-shkafy/nastennyy-19-shkaf-twb/hyperline-twb-0945-gp-ral9004-shkaf-nastennyy-19-dyuymovyy-19-9u-500x600kh450mm-steklyannaya-dver-s/)
16. Шафа Hyperline TTC-2268-GS-RAL9004 URL: <https://rackmarket.ru/catalog/shkafy-i-stoyki/napolnye-shkafy/hyperline-ttc-2268-gs-ral9004/>
16. Іванченко Ф.К. Розрахунок ПТМ та конвеєрів. Київ 1978. - 576 с.
17. А.П. Черный, А.В.Луговой, Д.И.Родькин, Г.Ю.Сисюк, А.В.Садовой Моделирование электромеханических систем. Учебное пособие. Кременчуг, КГПИ, 1999.
18. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными электродвигателями. // М.: Энергоиздат, — 1982. — 216 с.
19. Рахманов Н. Н. Устройства и механизмы для подъемно-транспортных работ. – Киев, 1991. – 280 с., ил.
20. Методика розрахунку ПЧ URL: https://studbooks.net/2346799/tehnika/raschet_vypriamitelya