

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

на тему **«РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КАР'ЄРНОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ
ПОЛТАВСЬКОГО ГЗК Ferrexpo»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 201-пМЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Кулик Д. Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник Бороздін М.К.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Шефер О.В.
(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Освітній рівень бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій

_____ д.т.н., проф. О.В. Шефер
“ 01 ” __04__ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кулику Данилу Юрійовичу

1. Тема проекту (роботи) **«РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КАР'ЄРНОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ ПОЛТАВСЬКОГО ГЗК Ferrexpo»**

керівник проекту (роботи) Бороздін Микола Кирилович, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від “20” 03 2023 року № 236-фа

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 14.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Напруга мережі живлення 6,3 кВ; номінальна потужність приводного двигуна – до 160 кВт; діапазон регулювання вихідної частоти перетворювача 1...50Гц; Кутова швидкість приводного барабана -157 рад/с.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд призначення і класифікації неперервних транспортних машин. Розрахунок параметрів стабілізації швидкості в електроприводі конвеєра. Розрахунок силової частини випрямляча. Дослідження якості регулювання швидкості при різних завантаженнях конвеєру. Моделювання елементів електромеханічної системи конвеєру. Дослідження інтегрального регулятора завантаження лінії в каналі зворотного зв'язку. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів): Загальний вигляд кар'єрного конвеєра. Функціональна схема ЕП з датчиком навантаження. Структурна схема системи регулювання. Перехідні процеси системи при роботі з різним навантаженням. Залежності критично-допустимих значень параметрів системи при різних навантаженнях. Цифрові моделі ЕД та САК. Схема частотного регульованого електроприводу з IR-компенсацією. Цифрова модель регульованого ЕП. Перехідний процес швидкості обертання валу двигуна під навантаженням. ЛАЧХ і ЛФЧХ в САК з максимальним моментом інерції. Запаси стійкості системи за амплітудою і фазою.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 10.04.23 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи		Примітка
1.	Призначення і класифікації неперервних транспортних машин. Розрахунок параметрів стабілізації швидкості в електроприводі конвеєра.	26.04.23	25%	Пл. 1
2.	Розрахунок силової частини випрямляча. Дослідження якості регулювання швидкості при різних завантаженнях конвеєру.	10.05.23	50%	Пл. 2
4.	Моделювання елементів електромеханічної системи конвеєру. Дослідження інтегрального регулятора завантаження лінії в каналі зворотного зв'язку.	24.05.23	70%	Пл. 4
5.	Висновки. Підготовка графічних матеріалів.	07.06.23		Пл. 5
6.	Оформлення кваліфікаційної роботи.	14.06.23	100%	Пл. 6

Кулик Д. Ю.

Студент

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бороздін М. К.

_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	6
1.1 Загальний аналіз технологічного процесу неперервного транспорту.....	6
1.1.1 Призначення і класифікація неперервних транспортних машин.....	7
1.1.2 Особливості умов експлуатації транспортних машин.....	10
1.1.3 Вибір транспортних машин.....	11
1.1.4 Аналіз устаткування кар'єрного конвеєра.....	13
1.2 Опис стрічкового конвеєра типу 2Л120А.....	15
1.3 Комплектація стрічкового конвеєра типу 2Л120А.....	16
1.4 Постановка задачі на дипломне проектування.....	17
2. КОНСТРУКТОРСЬКО - РОЗРАХУНКОВО ЧАСТИНА.....	19
2.1 Розрахунок параметрів стабілізації швидкості в електроприводі конвеєра.....	19
2.2 Дослідження механічних характеристик привода конвеєра.....	36
2.3 Розрахунок силової частини випрямляча.....	41
2.4 Дослідження якості регулювання швидкості при різних завантаженнях конвеєру.....	50
2.5 Моделювання елементів електромеханічної системи конвеєру.....	57
2.6 Дослідження інтегрального регулятора завантаження лінії в каналі зворотного зв'язку.....	61
Висновки.....	65
Список використаних джерел.....	66
Додатки.....	67

Вступ

У гірничовидобувній промисловості широко використовуються такі транспортні засоби як: електровозні, автомобільні і конвеєрні засоби, а також скіпові підйомники, лебідки, іноді гідротранспорт, монорейковий транспорт. Об'єктом дипломного проектування являється конвеєрна лінія, саме конвеєрне транспортування відіграє не останню роль у продуктивності, ефективності кар'єра або шахти в цілому.

Конвеєр - це машина безперервної дії, призначена для транспортування насипних і штучних вантажів - корисної копалини, породи, закладальних матеріалів. Розрізняють декілька типів конвеєрів: гвинтові, роликові, гравітаційні, стрічкові, стрічково-канатні, стрічково-ланцюгові, скребкові, вібраційні, пластинчасті та ін. Стрічковий конвеєр – пристрій з тяговим органом у вигляді замкнутої стрічки. Стрічка приводиться у рух силою тертя між нею та приводним барабаном, опирається по всій довжині на стаціонарні роликові опори. Кар'єрні стрічкові конвеєри за конструкцією поділяють на вибійні, відвальні, передавальні і стаціонарні магістральні.

Однією з основних проблем при використанні конвеєрного транспортування гірської породи - це нерівномірне завантаження по поверхні стрічки внаслідок того що швидкість стрічки постійна, а подача руди на конвеєр змінюється, що веде до погіршення використання ефективності конвеєра і низьких енергетичних показників привода. Саме це обумовлює запровадження автоматичного керування електроприводом, завдяки якому стає можливим регулювання навантаження на стрічці конвеєра на оптимальному рівні та переправа транспортуючого матеріалу з мінімальними енерговитратами за рахунок стабілізації енергетичних показників електродвигуна, що є основним споживачем електричної енергії.

З використанням таких енергозберігаючих технологій в кінцевому результаті буде отримані засоби виробництва з значно вищим коефіцієнтом корисної дії.

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальний аналіз технологічного процесу неперервного транспорту

Сучасний неперервний транспорт широко застосовуються у вигляді електровозних і конвеєрних транспортних засобів, а також скіпових підйомників, лебідок, монорейкового транспорту [1,2].

Останнім часом на кар'єрних видобутках відбуваються кількісні і якісні зрушення: збільшується кількість високопродуктивних машин, упроваджується і всебічно розширюється комплексна механізація і автоматизація, модернізація устаткування, поліпшується організація праці. Значна увага приділяється створенню і вдосконаленню транспортних засобів, оскільки вони не тільки забезпечують фронт очисних робіт, але й істотно впливають на умови просування породи та корисних копалин, а також функціонування всього гірничого господарства підприємства.



Рисунок 1.1 Кар'єрний стрічковий конвеєр із відвалоутворювачем

Від вибоїв підготовчих виробок породи, або руду, подають найчастіше безпосередньо у відкаточні судини — вагонетки, обмін яких займає від 7 до 20 % загального часу навантажування.

За останні роки з'являються нові транспортні засоби для поверхневих, горизонтальних і похилих ділянок, підземних станцій і вузлів сполучених виробок. Створюються потужні конвеєрні установки, великовантажні вагонетки,

самохідні машини та інше устаткування. У результаті істотно піднялись продуктивність праці й рівень безпеки робіт, знизилась трудомісткість і вартість транспортних операцій [1].

1.1.1 Призначення і класифікація неперервних транспортних машин

При будівництві відкритих розробок корисних копалин, на поверхні використовується велика кількість різних транспортних машин і механізмів. Серед них – хопри, розвантажувачі самоскидів, конвеєри різних типів, перевантажувачі, канатні й скреперні установки, автомобілі, підвісні канатні й монорейкові дороги, самохідні вагони і прохідницькі комплекси. Останні включають великий вибір устаткування, яке в межах підготовчого забою забезпечує механізацію процесів руйнування, навантаження й перевезення гірничої маси, доставки кріплення, допоміжних та інших матеріалів.



Рисунок 1.2 Завантаження породою стрічкового конвеєра

Транспортне устаткування вибирають для кожної виробки на основі техніко-економічного співставлення можливих варіантів з урахуванням конкретних гірничотехнічних умов (довжини транспортування, кута нахилу виробки, виду матеріалів, що переміщують, кількісних змін вантажопотоків у часі та ін.), а також перспектив розвитку підприємства, надійності роботи транспортних засобів і трудомісткості перевезень.

Оскільки при будівництві розробці кар'єру основні параметри (довжина транспортування і вантажопотік) постійно змінюються, машини і механізми вибирають з врахуванням того, що вони оптимальні в одних умовах, але можуть бути недосконалими в інших. Критерієм оптимальності в цьому випадку служить мінімум витрат на утримання транспортної системи за весь період роботи. У зв'язку з тим що вибір транспортної системи пов'язаний з аналізом багатьох варіантів, його доцільно здійснювати за допомогою ЕОМ. Використовують такі вихідні дані: схему горизонтальних і похилих виробок, початкову і максимальну їхню довжину, розміри кожного вантажопотоку, темпи просування підготовчих забоїв, види і типи засобів транспорту в усіх виробках, його вартісні параметри. При обраному варіанті повинні бути забезпечені: надійність системи; прогресивність прийнятих схем, засобів і методів транспортування; достатня пропускна здатність; безпечні умови праці; однотипність використовуваних машин (по можливості); повна взаємна погодженість різних транспортних підсистем, в тому числі для доставки матеріалів, устаткування і людей; можливість механізації і автоматизації перевозок.



Рисунок 1.3 Стрічковий конвеєр

Ефективне використання транспортних машин багато в чому обумовлює успішне виконання плану будівництва, а також різні техніко-економічні показники (продуктивність праці, вартість виконуваних робіт, їхню трудомісткість та ін.). Транспортні машини, які використовують при будівництві кар'єрів, класифікують за різними ознаками.

За конструктивними ознаками розрізняються конвеєри (стрічкові, скребкові, пластинчасті, вібраційні та ін.), локомотиви, підвісні канатні і монорейкові дороги, а також різноманітні установки: автомобільного транспорту, самопливні, гідравлічні й пневматичні, канатні, скреперні і самохідні.



Рисунок 1.4 Наземна живильна лінія повністю замінює використання важкої техніки для перевезення матеріалів

Згідно із способом переміщення вантажів застосовуються машини, в яких використовується ковзання (по ґрунту, жолобу, трубі), переміщення на вантажонесучих органах (стрічці, пластинчастому полотні), в посудинах (вагонетках, автосамоскидах), в середовищі (воді, повітрі). Відповідно до роду вживаної енергії розрізняються електричні, гідравлічні, пневматичні, інерційні, дизельні машини, а також машини, функціонуючі під дією ваги вантажу.

Залежно від тривалості роботи на одному місці машини можуть бути стаціонарними, напівстаціонарними і пересувними. Кожний із названих видів транспортних машин і спеціального устаткування має велику кількість конструктивних різновидів і типорозмірів, вибір яких визначається умовами експлуатації.



Рисунок 1.5 Кар'єрний конвеєр для транспортування гірничої маси на далекі відстані

1.1.1 Особливості умов експлуатації транспортних машин

Кар'єрний транспорт працює в специфічних умовах: обмеженість розмірів і непостійність робочого місця, похиле розташування устаткування, вологість, заповишеність і вибухонебезпечність середовища, змінний характер навантаження [2]. Утруднені умови роботи, зв'язані з невеликими площами поперечних перерізів гірничих виробок, потребують використання транспортних машин малих розмірів, їхня продуктивність, як правило, набагато нижча, ніж у великогабаритних. Непостійність робочого місця (безперервне переміщення) диктує необхідність використання під час швидкорозбірних і маневрених машин.

Вологе, запилене, агресивне і вибухонебезпечне середовище потребує застосування машин, захищених від дії вологи і пилу, стійких проти корозії, з вибухобезпечним електроустаткуванням.

Непостійний характер навантаження, зумовлений зміною обсягу перевозок і деформаціями виробок, може вивести машини із ладу. Тому вони повинні мати резерв продуктивності і високий запас міцності.

До транспортних засобів, які діють в гірничих виробках і на поверхні, ставлять ряд основних вимог. Машини повинні забезпечувати безперебійну роботу підготовчих забоїв; мати високу маневреність, переміщувати вантажі в найкоротший час; бути простіші в керуванні, з комфортними і безпечними

умовами для обслуговуючого персоналу; характеризуватись мінімальними витратами живої і матеріалізованої праці в сфері виробництва (виготовлення) і в процесі експлуатації; мати параметри, які відповідають конкретним умовам роботи. Ці вимоги (в порядку перелічення) класифікують як технологічні, виробничі, енергетичні, економічні й специфічні.

1.1.2 Вибір транспортних машин

На вибір устаткування, організацію робіт і техніко-економічні показники істотно впливають протяжність виробки, площа її поперечного перерізу і швидкість проведення, а також соціально-економічні фактори (система організації і оплати праці, рівень кваліфікації і віковий склад робітників, результати впровадження передового досвіду і т. ін.). Найвища продуктивність досягається при застосуванні колективних форм організації і оплати праці.

Різноманітність гірничотехнічних факторів зумовлює ряд характерних особливостей кар'єрного транспорту. Як правило, його лініям властиві велика протяжність і розгалуженість (при одночасній роботі кількох засобів), багатоступінчастість (внаслідок чергування горизонтальних ділянок з похилими або вертикальними виробками), складна конфігурація. Все це вимагає застосування найрізноманітніших машин для переміщення гірничих порід, матеріалів і устаткування, а також організації значної кількості перевантажувальних пунктів.

Сукупність розташованих транспортних машин і комплексів створює *систему кар'єрного транспорту*. Залежно від призначення розрізняють такі *комплекси машин* в цій системі: *основні* – для транспортування корисних копалин, *допоміжні* – для переміщення устаткування і матеріалів. Відповідно до місця розташування комплекси розподіляються на *ділянкові*, розташовані в межах виїмкової панелі або поверху, і *магістральні*— розміщені в головних горизонтальних і похилих виробках.

Транспортна система може бути *універсальною* (всі транспортні функції виконують одні й ті ж транспортні засоби) і *комбінованою*. Наприклад, широко використовуються конвейєрно-локомотивні, конвейєрно-локомотивно-канатні, локомотивно-канатні комбіновані системи.

Велика різноманітність транспортних машин, що експлуатують на одній і тій же шахті, приводить до різного їх поєднання. Тому один із основних напрямків дальшого удосконалення транспорту полягає у застосуванні способів виявлення систем розробки і підготовки, при яких забезпечуються найбільш економічні схеми підземного транспорту.

Для встановлення оптимальної технологічної системи кар'єрного транспорту всієї шахти з урахуванням її особливостей не можна обмежуватись вибором найбільш вигідного виду транспорту для кожної ділянки окремо. Необхідно розглядати транспортні засоби в їхніх взаємодіях і стосовно до конкретних гірничотехнічних умов. Для розв'язування такого роду складних задач існують ефективні методи, які дозволяють вибирати із великої кількості порівнюваних варіантів економічно найвигіднішу технологічну схему кар'єрного транспорту. Для складання аналізу варіантів використовуються такі вихідні дані: схема транспортних виробок кар'єра, перелік доцільних видів транспорту для цих виробок і економічні показники, що характеризують всі порівнювані види транспорту в розглядуваних конкретних умовах.

Велике значення при виборі способу і засобів транспортування гірничої маси має кут нахилу виробки. До перших відносять кут нахилу виробки, міцність гірничих порід, водоносність, газоносність і схильність пластів до несподіваних викидів, а до других — площу поперечного перерізу виробки, її протяжність, вид забою (вугільний, змішаний або породний), способи нахилу до 3° , стрічкові конвеєри з гладкою стрічкою – до 18° , скребкові конвеєри – до 35° , кінцеву канатну відкатку в вагонетках – до 30° , самохідний пневмоколісний транспорт – до 15° .

1.1.3 Аналіз устаткування кар'єрного конвеєра

Конвеєр - машина безперервної дії, призначена для транспортування насипних і штучних вантажів - корисних копалин, породи, закладальних матеріалів і інші. Широко застосовується в кар'єрах, на шахтах.

Основні типи конвеєрів: гвинтові, роликові, гравітаційні, стрічкові, стрічково-канатні, стрічково-ланцюгові, скребкові, вібраційні, пластинчасті та ін. До конвеєрів належать також елеватори та ескалатори.

Основні елементи конвеєра: тяговий, вантажний або тягово-вантажний органи; опорні і направляючі елементи; конвеєрний постав, привод.

За конструктивними ознаками розрізняють конвеєри з гнучким тяговим органом і без тягового органу. У перших конвеєрах вантаж рухається разом з тяговим органом на його робочій гілці (стрічкові, стрічково-канатні, стрічково-ланцюгові, скребкові, пластинчасті конвеєри, елеватори). В інших поступальний рух вантажу здійснюється при коливному або обертовому рухові робочих елементів (інерційні, вібраційні, шнекові, роликові конвеєри). Для живлення, застосовується електрична, рідше гідравлічна і пневматична енергія.

За кутом підйому розрізняють горизонтальні і слабко-похилі ($6-3^{\circ}$), похилі (до $18-20^{\circ}$ і до -16°), круто-похилі конвеєри (понад $18-20^{\circ}$ і понад -16°). Траса конвеєра може бути як прямолінійною, так і криволінійною, конвеєри постійної або змінної довжини. Конвеєри бувають стаціонарні, напівстаціонарні і пересувні, за призначенням - для підземних, відкритих гірничих робіт, загального призначення, спеціальні (напр., живильники, перевантажувачі тощо). Особливий різновид конвеєрів являє конвеєрний потяг.

Переваги конвеєрів: безперервність переміщення вантажів, завантаження і розвантаження без зупинок, висока продуктивність, велика довжина транспортування, високий ступінь автоматизації, забезпечення умов безпеки праці, високі техніко-економічні показники.

В Україні конвеєри випускають Дніпропетровський завод будівельних машин, Львівський конвеєробудівний завод, Харківський завод “Світло шахтаря” та інші підприємства [1,2].

Недоліки: Значна вартість і малий строк служби стрічок, чутливість до викривлення осі, обмеженість використання від похилих виробках, невелика довжина транспортування одним агрегатом.

Стрічковий конвеєр – пристрій безперервної дії з об’єднаним вантажонесучим та тяговим органом у вигляді замкнутої стрічки [3]. Стрічка приводиться у рух силою тертя між нею та приводним барабаном, опирається по всій довжині на стаціонарні роликові опори. У шахтах і кар’єрах стрічковий конвеєр слугує для транспортування породи з прохідницьких, розкривних і добувних вибоїв горизонтальними і похилими виробками всередині гірничих підприємств, підняття їх на поверхню і подальшого переміщення до збагачувальної фабрики або пункту перевантаження на зовнішній транспорт, а породи - у відвал. Основні елементи конструкції стрічкового конвеєра: конвеєрна стрічка, привод, постав з роликоопорами, завантажувальний і натяжний пристрій. Крім того, на конвеєрі встановлюють вловлювачі стрічки, механізми для її очищення, завантаження та ін. Привод складається з електродвигуна, редуктора, з’єднувальних муфт, гальма і приводного барабана (барабанів). Розрізняють декілька схем приводів за числом і місцем встановлення барабанів. Постав стрічкового конвеєра робиться з “жорстким” і шарнірно-підвісними роликоопорами. Завантажувальний пристрій конвеєра має вигляд приймальної воронки з бортами, що направляють вантажопотік. Натяжний пристрій – барабанна електролебідка з системою канатних блоків. За галуззю застосування, конструкцією і параметрами підземні стрічкові конвеєри поділяються на п’ять груп. Перша - конвеєр для примикаючих до лав транспортованих виробок з кутами нахилу 3-6°. Друга - для горизонтальних і слабо похилих виробок. Третя - для похилів з кутом до 18°. Четверта - для бремсбергів з кутом до 16°. П’ята - для похилих стовбурів і головних схилів з кутом 3-18°. У гірничорудній

промисловості на підйомах крупнодрібленої руди з кар'єрів продуктивність стрічкових конвеєрів становить до 6000 т/год., шир. стрічки 1600-2000 мм, потужність електродвигунів привода 1200-3000 кВт. Загалом такі конвеєри мають високу продуктивність, яка досягає 30 тис.т./год. Довжина в одному поставі від декількох м до 10-15 тис. м., кут нахилу не перевищує 16-18°.

1.2 Опис стрічкового конвеєра типу 2Л120А

Призначений для експлуатації на відкритих гірничих роботах, розрізах, рудниках, вугільних шахтах, небезпечних по газу та пилу виробках з кутами падіння від - 3 до + 18 град., транспортування гірничої маси, скельної породи крупністю не більше 300 мм. Конструкція конвеєра допускає телескопічне подовження або скорочення конвеєрної стрічки на довжину до 100 метрів, при цьому монтаж-демонтаж стрічкового полотна виробляється цілим шматком до 100м.

Технічні характеристики стрічкового конвеєра типу 2Л120А

Швидкість руху стрічки, м/с	2,0/2,5 Таблиця 1.1
Продуктивність, т/г	120/420
Номінальна ширина стрічки, мм	800
Максимально можлива довжина конвеєра, м.	1000
Допустимий кут нахилу виробки, град	от -3 до +18
Потужність привода, кВт	2*75
Номінальний діаметр роликів, мм.	159
Телескопічність, м	50
Тип стрічки	гумовотканинна
Максимальна маса конвеєра, т	87

1.3 Комплектація стрічкового конвеєра типу 2Л120А

Комплектація конвеєра визначається замовником. На підставі опитувального листа або технічного завдання завод-виготовлювач виконує розрахунок стрічкового конвеєра з узгодженням замовника.

Базова комплектація конвеєра становить:

- Стріла розвантажувальна;
- Станція приводна;
- Пристрій гальмове;
- Козелок передній секції телескопічною;
- Каретка секції телескопічною;
- Секція завантажувальна;
- Датчик проїзду;
- Пристрій аварійної зупинки;
- Козелкі траси трубчастої;
- Опори телескопічною секції;
- Рейки телескопічною секції;
- Огородження телескопічною секції;
- Роликоопори;
- Ролики;
- Опори перекриття;
- Металовироби.

Секція телескопічна стрічкового конвеєра типу 2Л120А

Секція телескопічна призначена для акумулювання стрічкового полотна, забезпечення конвеєра необхідним запасом стрічки, зниження витрат на монтаж-демонтаж стрічкового полотна. Мінімальна довжина секції телескопічної 12,773 м, при цій довжині запас стрічки становить 14 м, довжина телескопічної секції визначається замовником і досягається використанням повторюваних послідовно змонтованих сегментів.

Секція телескопічна складається з наступних основних вузлів: переднього козелка в зборі сегментів телескопічної секції; каретки секції телескопічної, яка являє собою візок з барабаном, здатну переміщатися по напрямних сегментів телескопічної секції.



Рисунок 1.6 Станція натяжна стрічкового конвеєра типу 2Л120А

Станція натяжна призначена для забезпечення необхідного натягу стрічки конвеєра, оснащена канатним барабаном, який приводиться в рух черв'ячні

редуктори, здійснює натяг стрічки та скорочення (подовження) конвеєра на 50 м за рахунок переміщення каретки.

При обертанні канатного барабана, канат перекинутий через блоки каретки (диск напрямний) петлевого пристрої та блок гідроциліндра натяжна станції, намотується на канавки барабана переміщаючи каретку по рейках петлевого пристрою, тим самим здійснюється натяг стрічки. Контроль натягу стрічки здійснюється за допомогою свідчень електроконтактні манометра який з'єднаний з гідроциліндром натяжна станції. Гідроциліндр наповнений рідиною. При натягу канат впливає на шток гідроциліндра через блок, тиск рідини збільшується, електроконтактні манометр показує зміну тиску і натяг стрічки.

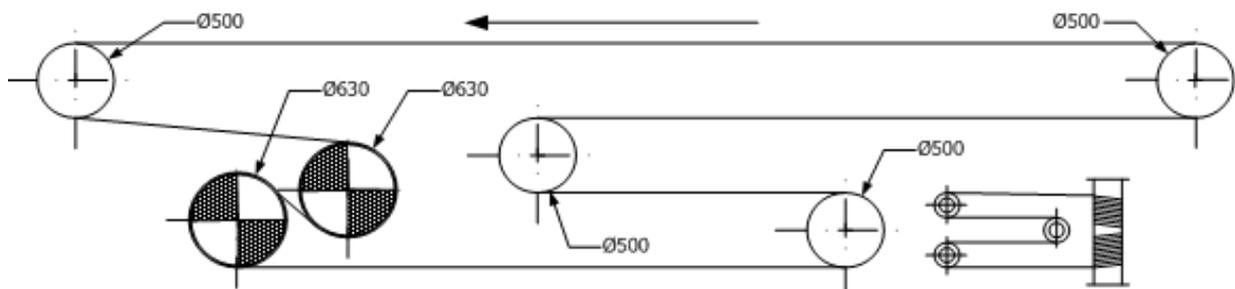


Рисунок 1.7 Кінематична схема конвеєра

1.4 Постановка задачі на дипломне проектування

Суть проблеми: в процесі експлуатації конвеєр може працювати при недовантаженні. Це призведе до погіршення енергетичних показників досить потужних електродвигунів, марна трата електроенергії. Для усунення проблеми використовують два електродвигуна. Другий вимикається, коли конвеєр недовантажений. Але таке рішення проблеми лише частково покращує енергоспоживання. Кардинальне рішення – зміна швидкості обертання частотним методом. При цьому необхідно контролювати завантаження і підтримувати його на сталому рівні. Можна також використати один більш потужний двигун з значно кращими енергетичними показниками.

Проаналізувавши особливості і принцип роботи стрічкового конвеєра ставимо наступні задачі щодо модернізації електропривода конвеєра:

1. Необхідно розробити систему регулювання швидкості обертання валу привідного двигуна;
2. Побудувати математичну модель електропривода;
3. Виконати синтез регулятора та дослідити динамічні властивості системи, що синтезується.
4. Побудувати загальну математичну модель електромеханічної системи.
5. Синтезувати систему стабілізації навантаження.

2 КОНСТРУКТОРСЬКО - РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок параметрів стабілізації швидкості в електроприводі конвеєра

Кар'єрні механізми, приводні станції для приведення в рух стрічки стрічкового конвеєра, для транспортування гірничої маси по стрічці з кар'єра, або шахти, приводяться в дію асинхронними двигунами з КЗ ротором, який розміщений в приводній станції. Ця станція містить два двигуна типу АВР250S4 з наступними параметрами:

Паспорті дані асинхронного двигуна АВР250S4

Таблиця 2.1

$P_n = 75 \text{ кВт};$	$J_{\text{об}} = 1,02 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}} = 7$
$n_0 = 1500 \text{ об/хв.};$	$\cos\varphi = 0,87;$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}} = 2.2$
$n_n = 1480 \text{ об/хв.};$	$\eta = 92 \text{ \%};$	
$S_n = 1.6 \text{ \%}$	$U_n = 1140 \text{ В};$	

Для регулювання швидкості обертання вала двигуна використовуємо частотний перетворювач для загально промислових механізмів на базі автономного інвертору напруги.

Заміняємо два двигуни одним з кращими електричними параметрами, з вибухозахищеним конструктивним виконанням типу АВР280L4 з параметрами:

Паспорти дані асинхронного двигуна АВР280L4

$P_n = 160$ кВт;	$J_{об} = 3.08$ кг·м ² ;	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}} = 7.5$
$n_0 = 1500$ об/хв.;	$\cos\varphi = 0,86$;	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}} = 3$
$n_n = 1470$ об/хв.;	$\eta = 93,5$ %;	$\frac{M_{макс}}{M_{ном}} = 3$
$S_n = 2$ %	$U_n = 1140$ В;	$\frac{M_{мін}}{M_{ном}} = 1.4$

Параметри перетворювача. Технічні характеристики частотно-регульованих електроприводів "ЕРАТОН" (рис. 2.1)



Рисунок 2.1 Технічні характеристики частотно-регульованих електроприводів

ККД при номінальному навантаженні не менш 0,98.

Діапазон регулювання вихідної частоти перетворювача, Гц:

- із постійністю моменту 1...50 Гц;
- із постійністю потужності 50...100 Гц

$$U_{вих} = 0...380 \text{ В.}$$

Напруга керування при якій частота напруги живлення дорівнює 50 Гц складає 5 В. Постійна часу τ перетворювача частоти з фільтрами складає 0,05 с.

Загальний момент інерції механічних частин:

$$J_{\text{заг.і}} = J_{\text{дв}} + \frac{J_{\text{і.а}}}{i^2} + m_{\text{і}} \cdot \rho_{\text{і}}^2, \quad (2.1)$$

де $m_{\text{і}}$ - маса яка знаходиться на конвеєрі відповідно в режимі холостого ходу і в номінальному режимі;

$J_{\text{дв}}$ – момент інерції двигуна;

$\rho_{\text{і}}$ – відношення швидкості руху руди до відповідної кутової швидкості двигуна;

$J_{\text{об}}$ – момент інерції тіл що обертаються, прийmemo 30% від момента інерції двигуна;

i – передаточне число двигуна і редуктора.

Передаточне число знаходимо за формулою:

$$i = \frac{\omega_0}{\omega_{\text{а}}}, \quad (2.2)$$

де ω_0 - синхронна кутова швидкість обертання поля статора;

$\omega_{\text{б}}$ – кутова швидкість приводного барабана.

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_{\text{а}} = \frac{v}{d_{\text{а}}}, \quad (2.3)$$

де v – швидкість руху стрічки, м/с.;

$d_{\text{б}}$ – діаметр приводного барабана, м.

$$\omega_a = \frac{2.5}{0.63} = 3.97 \text{ рад/с.};$$

$$i = \frac{157}{3.97} = 39.55.$$

$$J_{\zeta\hat{a}\hat{a}.1} = J_{\hat{a}\hat{a}} + \frac{J_{\hat{i}\hat{a}}}{i^2} + m_1 \cdot \rho_1^2 = 3.08 + \frac{0.924}{39.55^2} + 500 \cdot \left(\frac{2.5}{157}\right)^2 = 3.21 \text{ кг/м}^2;$$

$$J_{\zeta\hat{a}\hat{a}.2} = J_{\hat{a}\hat{a}} + \frac{J_{\hat{i}\hat{a}}}{i^2} + m_2 \cdot \rho_2^2 = 3.08 + \frac{0.924}{39.55^2} + 5776 \cdot \left(\frac{2.5}{153.9}\right)^2 = 4.6 \text{ кг/м}^2.$$

При синтезу системи необхідно звернути увагу на те, що перетворювач повинен працювати в першій зоні (зона постійного моменту), тобто в зоні підтримання перевантажувальної здатності двигуна.

Виконаємо розрахунок параметрів лінеаризованої структурної схеми електропривода з асинхронним двигуном.

При проведенні аналітичних досліджень електропривода з асинхронним двигуном можна застосовувати слідуючу лінеаризовану структурну схему [4].

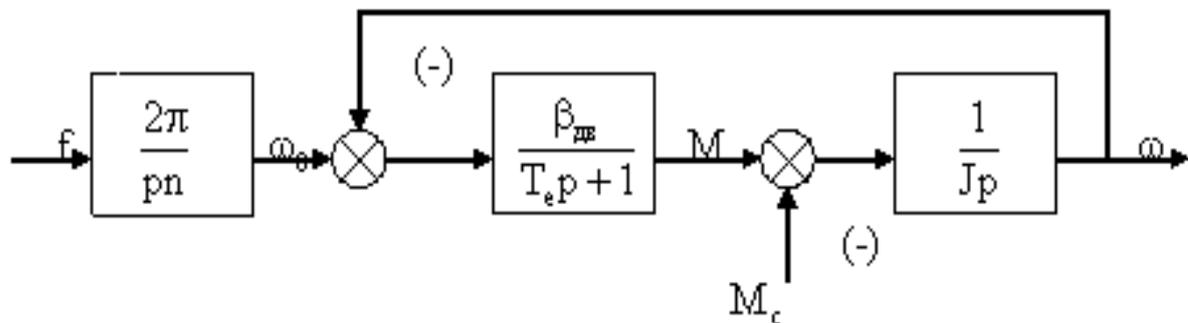


Рисунок 2.2 Лінеаризована структурна схема асинхронного двигуна

Визначаємо параметри схеми заміщення.

Визначимо параметри схеми заміщення асинхронної машини по паспортним даним згідно [5].

1. Номінальне ковзання

$$S_n = \frac{n_0 - n_H}{n_0}, \quad (2.4)$$

де n_0 – синхронна швидкість обертання магнітного поля;

n_H – номінальна швидкість обертання двигуна.

$$S_n = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0.02.$$

2. Критичне ковзання

$$S_k = \left(m_k + \sqrt{m_k^2 - 1} \right) \cdot S_n, \quad (2.5)$$

де $m_k = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$ - відношення пускового моменту до номінального.

$$S_k = \left(3 + \sqrt{3^2 - 1} \right) \cdot 0.02 = 0.117.$$

3. Конструктивний коефіцієнт

$$c_1 = 1 + \frac{L_{1s}}{L_m}. \quad (2.6)$$

Конструктивний коефіцієнт задається в діапазоні 1.02÷1.05 для попереднього розрахунку параметрів схеми заміщення. Після розрахунку індуктивностей, що входять в рівняння (2.6), необхідно порівняти отримане значення з вибраним на початку і уточнити розрахунок.

4. Коефіцієнт в'язкого тертя

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{\left(\frac{2\pi \cdot n_H}{60} \right)^2}. \quad (2.7)$$

$$\Delta P_m = \left(\frac{P_1}{\eta} - P_1 \right) \cdot 0.05. \quad (2.8)$$

$$\Delta P_m = \left(\frac{160000}{0.935} - 160000 \right) \cdot 0.05 = 556.15 \text{ Вт.}$$

5. Опір статора

$$R_s = \frac{3}{2} \cdot \frac{\left(\frac{U_H}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot (1 - S_H)}{c_1 \cdot \left(1 + \frac{c_1}{S_k}\right) \cdot M_k \cdot (P_H + \Delta P_m)}, \quad (2.9)$$

де M_k – критичний момент;

$$M_k = M_H \cdot 3;$$

$$M_i = \frac{P_i}{\omega_i} = \frac{160000}{153.86} = 1039.91 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.10)$$

$$R_s = \frac{3}{2} \cdot \frac{\left(\frac{1140}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot (1 - 0.02)}{1.025 \left(1 + \frac{1.025}{0.117}\right) \cdot 3119.72 \cdot (160000 + 556.15)} = 1.271 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

6. Опір ротора

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_H + \Delta P_m)}{(1 - S_H) \cdot i_k^2 \cdot I_H^2}, \quad (2.11)$$

де $i_k = \frac{I_k}{I_H}$ – відношення струму короткого замикання до номінального струму

$$i_k = 7.5.$$

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi \cdot \eta}; \quad (2.12)$$

$$I_H = \frac{160000}{\sqrt{3} \cdot 1140 \cdot 0.86 \cdot 0.935} = 100.77 \text{ А}.$$

$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(160000 + 556.15)}{(1 - 0.02) \cdot 7.5^2 \cdot 100.77^2} = 0.096 \text{ Ом}.$$

7. Індуктивність статора і ротора

$$L_s \cong L_r = \frac{1}{2\pi \cdot f_H} \cdot \frac{\frac{U_H}{\sqrt{3}}}{I_H \left[\sqrt{1 - (\cos\varphi)^2} - \cos\varphi \cdot \frac{S_H}{S_k} \right]}; \quad (2.13)$$

$$L_s \cong L_r = \frac{1}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} \cdot \frac{\frac{1140}{\sqrt{3}}}{100.77 \cdot \left[\sqrt{1 - (0.86)^2} - 0.86 \cdot \frac{0.02}{0.117} \right]} = .00573 \text{ Гн.}$$

8. Індуктивність розсіювання статора і ротора

$$L_{1s} \cong L_{1r} = \frac{1}{4\pi \cdot f_H} \cdot \sqrt{\left[\frac{\left(\frac{U_H}{\sqrt{3}} \right)}{(i_K \cdot I_H)} \right]^2 - (R_s + R_r)^2} \quad (2.14)$$

$$L_{1s} \cong L_{1r} = \frac{1}{4 \cdot 3.14 \cdot 50} \cdot \sqrt{\left[\frac{\left(\frac{1140}{\sqrt{3}} \right)}{(7.5 \cdot 100.77)} \right]^2 - (0.000127 + 0.096)^2} = 0.00138 \text{ Гн.}$$

9. Взаємодукція

$$L_m = L_s - L_{1s}, \quad (2.15)$$

$$L_m = 0.0573 - 0.00138 = 0.056 \text{ Гн.}$$

Порівняємо конструктивний коефіцієнт c_1 який ми обирали на початку розрахунку:

$$c_1 = 1 + \frac{0.00138}{0.056} = 1.025.$$

10. Електромагнітна постійна часу T_e :

$$\dot{\alpha}_a = \frac{\tilde{O}_{\hat{e}}}{\omega_0 \cdot R_r}, \quad (2.16)$$

де X_K – реактивний опір короткого зімкнення:

$$X_K = X_1 + X'_2, \quad (2.17)$$

де X_1 – реактивний опір фази статора.

X'_2 – реактивний опір фази ротора.

$$X_1 = L_{1s} \cdot 2\pi \cdot 50; \quad X'_2 = L_{1r} \cdot 2\pi \cdot 50;$$

$$X_1 = 0.00138 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 0.433 \text{ Ом.} \quad X'_2 = 0.00138 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 0.433 \text{ Ом.}$$

$$X_K = 0.433 \cdot 0.433 = 0.866 \text{ Ом.}$$

$$T_e = \frac{0.866}{157.08 \cdot 0.096} = 0.057.$$

Усереднене значення модуля статичної жорсткості механічної характеристики при навантаженнях, що не перебільшують номінальне значення:

$$|\beta_{\text{дв}}| \approx \frac{I_1}{\omega_0 - \omega_1}; \quad (2.18)$$

$$|\beta_{\text{дв}}| \approx \frac{1039.91}{157 - 153.93} = 330.845.$$

11. Електромеханічна постійна часу електропривода:

$$T_M = \frac{J_{\text{заг1}}}{|\beta_{\text{дв}}|}; \quad (2.19)$$

$$T_M = \frac{4.6}{330.845} = 0.0165.$$

Побудова структурної схеми електропривода

Передаточна функція перетворювача частоти:

$$W_{\text{пч}} = \frac{K_{\text{пч}}}{1 + \tau p}, \quad (2.20)$$

де τ - постійна часу перетворювача частоти.

Передаточна функція за керуючою дією (на вході напруга, що подається на якірне коло, на виході – кутова швидкість):

$$W_1 = \frac{K_d}{T_M T_e p^2 + T_M p + 1}, \quad (2.21)$$

де T_e , T_M - електромагнітна та електромеханічна постійні часу відповідно.

Запишемо передаточну функцію за збурюючої дією:

$$W_2 = \frac{K_d(1 + T_e p)}{T_m T_e p^2 + T_m p + 1} \quad (2.22)$$

Передаточна функція тахогенератора:

$$W_{тр} = K_{зз} = K_{тр}$$

Передаточна функція регулятора:

$$W_{рег} = K_{рег}$$

Загальний вигляд передаточної функції:

$$\omega(p) = W_1 U_3(p) - W_2 M_c(p); \quad (2.23)$$

$$\omega(p) = W_{рег} \cdot W_{пч} \cdot W_1 \cdot (U_3(p) - U_{зз}(p) - W_2 \cdot M_c(p)); \quad (2.24)$$

$$U_{зз}(p) = W_{тр} \omega(p)$$

Отримаємо загальний вираз передаточної функції:

$$\omega(p) = \frac{W_{рег} \cdot W_{пч} \cdot W_1}{1 + W_{рег} \cdot W_{пч} \cdot W_1 \cdot W_{тр}} \cdot U_3(p) - \frac{W_2}{1 + W_{рег} \cdot W_{пч} \cdot W_1 \cdot W_{тр}} \cdot M_c(p) \quad (2.25)$$

Для синтезу регулятора знехтуємо збуренням.

Тоді отримаємо слідуючу структурну схему з від'ємним зворотнім зв'язком по швидкості.

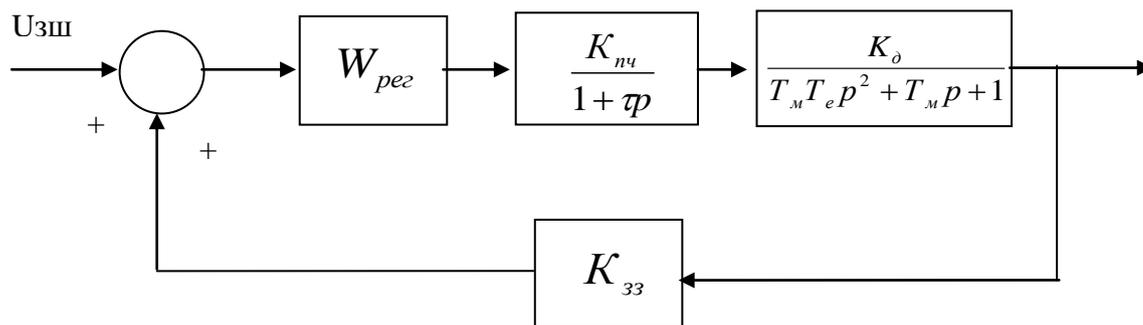


Рисунок 2.3 Структурна схема асинхронного двигуна

Розрахуємо параметри структурної схеми.

Коефіцієнт підсилення перетворювача частоти:

$$K_{пч} = \frac{f}{U} = 10. \quad (2.26)$$

де f – частота напруги мережі;

U – сигнал керування перетворювача частоти.

Коефіцієнт підсилення двигуна:

$$K_{\ddot{a}} = \frac{\omega_0}{f} = \frac{157.1}{50} = 3.1422, \quad (2.27)$$

де ω_0 - синхронна кутова швидкість обертання поля статора.

Далі можна перейти до рішення відносно методу розрахунку регулятора.

Приймаємо рішення оптимізувати контур на технічний оптимум. При цьому будемо компенсувати дві послідовні ланки зі сталими часу T_e та T_m . В такому регулятор буде мати інтегральну складову і система буде астатичною.

Розрахунок каналу зворотного зв'язку

Тахогенератор будемо вважати безінерційною ланкою. Поряд з тахогенератором можливо буде необхідно використовувати дільник напруги. Критерій рішення про застосування дільника слідуючий: в статичному режимі напруга на виході зворотного зв'язку не повинна перевищувати величину сигналу керування. Тобто для обраного нами перетворювача для номінальної швидкості двигуна напруга не повинна бути більшою 5 В.

Вибираємо тахогенератор з наступними даними:

максимальна робоча швидкість – 1500 об/хв (157,1 1/с);

вихідна ЕРС – 230 В.

Тоді коефіцієнт передачі тахогенератора $K_{\text{тг}}$ знайдемо як відношення вихідного сигналу до вхідного в статичному режимі роботи.

$$K_{\text{тг}} = \frac{230}{157.1} = 1.464.$$

Далі необхідно знайти величину дільника напруги, так як частоті обертання тахогенератора в 1500 об/хв. буде відповідати ЕРС 230 В. Таку величину недопустимо подавати на регулятор. Величину дільника можна знайти виходячи з виразу загальної передаточної функції оптимізованого контуру швидкості.

$$W_{(TO)прям} = \frac{\omega_{\delta\epsilon}(p)}{U_{\kappa}(p)} = \frac{1/K_{ззш}}{2T_{пч}p \cdot (T_{пч}p + 1) + 1} \quad (2.28)$$

Прирівнюємо $p=0$ (для статичного режиму).

$$W_{Опт} = \frac{\omega_{\delta\epsilon}}{U_{\kappa}} = \frac{1}{K_{ззш}} \quad (2.29)$$

Тоді $K_{ззш} = K_{ТГ} \cdot K_{дільника} = \frac{U_{\kappa}}{153.91} = 0.032487$.

Звідси $K_{дільника} = \frac{K_{ззш}}{K_{ТГ}} = \frac{0.032487}{1.464} = 0.022 = \frac{1}{45.455}$.

Тобто необхідно в 45,455 разів зменшити напругу з виходу тахогенератора.

Синтез ПІД-регулятора

Настроїмо контур регулювання швидкості на технічний оптимум.

$$W_{рег} = \frac{K_{д} \cdot K_{пч} \cdot K_{ТГ}}{(1 + T_{пч}p) \cdot (T_{\epsilon}T_{м}p^2 + T_{м}p + 1)} = \frac{1}{2T_{\mu}p \cdot (T_{\mu}p + 1)} \quad (2.30)$$

Прийmemo $T_{пч} = T_{\mu}$, тоді

$$W_{рег} = \frac{(1 + T_{пч}p) \cdot (T_{\epsilon}T_{м}p^2 + T_{м}p + 1)}{2T_{пч}p \cdot (T_{пч}p + 1) \cdot K_{д} \cdot K_{пч} \cdot K_{ззш}} \quad (2.31)$$

Зробимо заміну:

$$T_1 = 2T_{пч} \cdot K_{д} \cdot K_{пч} \cdot K_{ззш}, \quad (2.32)$$

$$W_{рег} = \frac{T_{\epsilon}T_{м}p^2 + T_{м}p + 1}{T_1p} = \frac{T_{\epsilon}T_{м}}{T_1}p + \frac{T_{м}}{T_1} + \frac{1}{T_1p} \quad (2.33)$$

тоді

Підставимо значення і отримаємо складові ПІД-регулятора:

$$T_1 = 2 \cdot 0.05 \cdot 3.1422 \cdot 10 \cdot 0.032 = 0.102.$$

$$W_{\text{рег}} = \frac{0.058 \cdot 0.014}{0.102} p + \frac{0.014}{0.102} + \frac{1}{0.102p} =$$

$$0.007867p + 0.136 + \frac{1}{0.102p}.$$

Можна побачити, що в задачі маємо не класичний випадок. Тому, що мала стала часу ϵ по величині самою великою. Обґрунтуванням рішення про прийняття некомпенсованої сталої часу самою великою по величині є те, що частотний привод зі скалярним керуванням потребує для працездатності регулятора застосування датчиків інтенсивності. В нашому випадку датчиком є фільтр перетворювача енергії. Для завершення синтезу рекомендується перевіряти двигун на допустимість величин струмів в перехідних процесах з допомогою комп'ютерного моделювання.

Розрахуємо за аналогією параметри ПД-регулятора для $J_{\text{заг2}}$:

Електромеханічна постійна часу електропривода:

$$T_M = \frac{J_{\text{заг1}}}{|\beta_{\text{дв}}|};$$

$$T_M = \frac{3.21}{330.845} = 0.0097.$$

Настроїмо контур регулювання швидкості на технічний оптимум.

$$W_{\text{рег}} = \frac{K_d \cdot K_{\text{пч}} \cdot K_{\text{тг}}}{(1 + T_{\text{пч}}p) \cdot (T_e T_M p^2 + T_M p + 1)} = \frac{1}{2T_{\mu}p \cdot (T_{\mu}p + 1)}.$$

Прийmemo $T_{\text{пч}} = T_{\mu}$, тоді

$$W_{\text{рег}} = \frac{(1 + T_{\text{пч}}p) \cdot (T_e T_M p^2 + T_M p + 1)}{2T_{\text{пч}}p \cdot (T_{\text{пч}}p + 1) \cdot K_d \cdot K_{\text{пч}} \cdot K_{\text{ззш}}}.$$

Зробимо заміну:

$$T_1 = 2T_{\text{пч}} \cdot K_d \cdot K_{\text{пч}} \cdot K_{\text{ззш}},$$

$$W_{\text{рег}} = \frac{T_e T_M p^2 + T_M p + 1}{T_1 p} = \frac{T_e T_M}{T_1} p + \frac{T_M}{T_1} + \frac{1}{T_1 p}.$$

тоді

Підставимо значення і отримаємо складові ПД-регулятора:

$$T_1 = 2 \cdot 0.05 \cdot 3.1422 \cdot 10 \cdot 0.032 = 0.102.$$

$$W_{\text{пер}} = \frac{0.058 \cdot 0.009702}{0.102} p + \frac{0.009702}{0.102} + \frac{1}{0.102p} =$$

$$= 0.00549p + 0.095 + \frac{1}{0.102p}.$$

Синтез функціональних схем електроприводу.

Частотне регулювання частоти обертання асинхронного двигуна має ряд найважливіших переваг у порівнянні з іншими способами: використовуються найбільш прості та надійні електродвигуни (з короткозамкненим ротором), регулювання здійснюється без втрат ковзання (без втрат в опорах), досягається плавне регулювання, характеристики (основна і проміжні) являються жорсткими, що доволі зручно для більшості приводів.

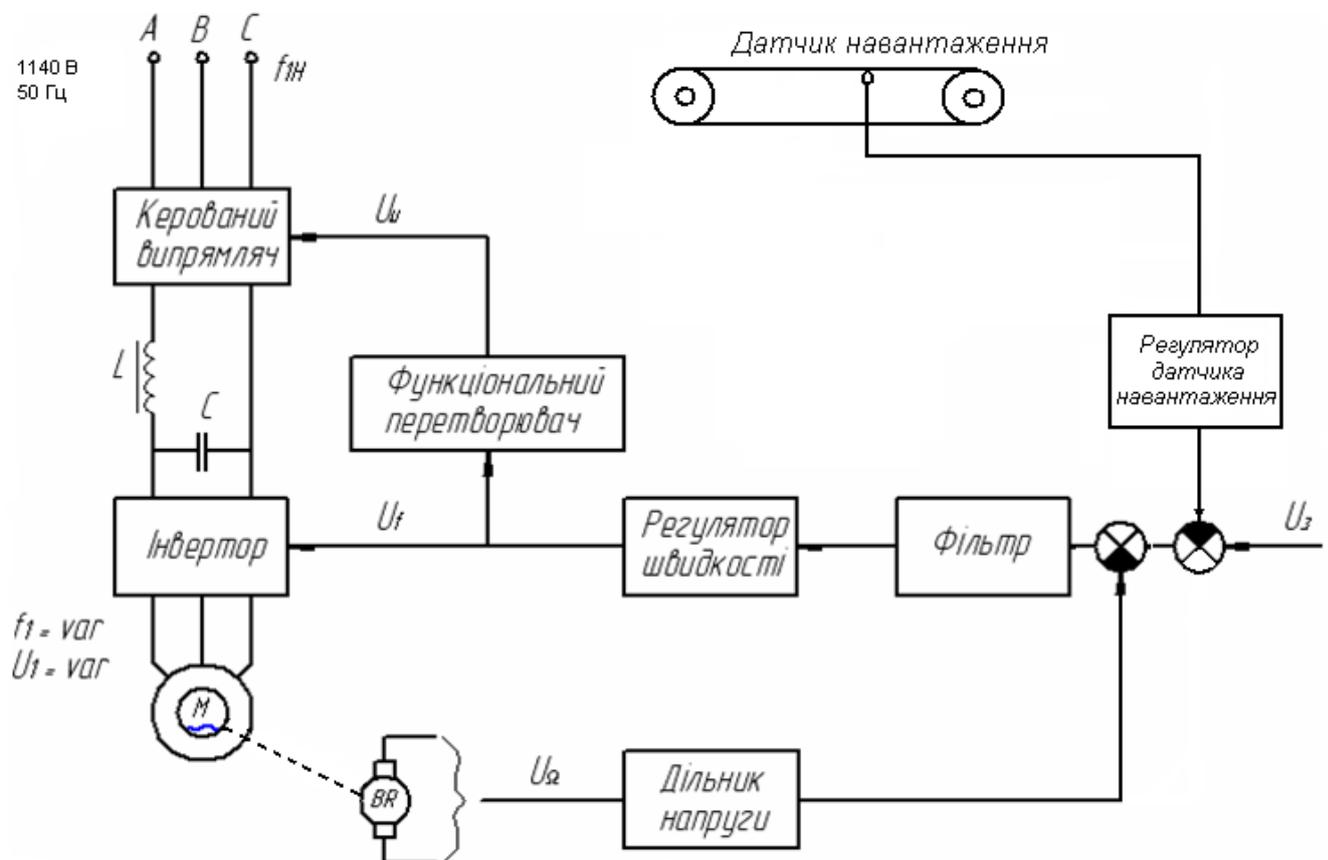


Рисунок 2.4 Функціональна схема частотного регулювання електроприводу

На функціональній схемі даного електроприводу зображені основні блоки за допомогою яких здійснюється автоматичне керування системи. САК складається з двох взаємопов'язаних контурів. До зовнішнього контуру входять конвеєр з датчиком навантаження у вигляді конвеєрних вагів, регулятор цього датчика що через суматор на вході системи через від'ємний зворотний зв'язок впливає на параметри регулювання. До внутрішнього контуру входять тахогенератор на валу двигуна та дільник напруги що дозволяє подавати напругу керування не більше допустимої. В залежності від величини навантаження що створюється при роботі конвеєра датчик навантаження видає відповідної величини сигнал через регулятор на вхід перетворювача частоти, паралельно цьому тахогенератор реагує на зміну частоти обертання вала двигуна від ω_0 до ω_n в залежності від інтенсивності завантаження і через дільник випрацьовує потрібний вхідний сигнал забезпечення нормальної роботи системи.

У наш час використовуються два види перетворювача частоти: машинні та статичні (тиристорні). Тиристорні перетворювачі частоти бувають з безпосереднім зв'язком і з ланкою постійного струму. Перші використовуються у тих випадках, коли потребується менша регульована частота, ніж частота $f_{живл}$ джерела живлення. Верхня межа регулювання частоти на виході перетворювача складає $\sim 0,2 \dots 0,25 f_{живл}$. Для згладжування пульсацій і отримання на виході напруги, близької по формі до синусоїдальної, що особливо важливо при низьких частотах для рівномірного обертання двигунів, використовуються згладжуючі дроселі.

У перетворювачі частоти з проміжною ланкою постійного струму мається керований тиристорний випрямляч, фільтр і автономний інвертор, на вихід якого підключений двигун змінного струму. У цьому перетворювачі струм промислової частоти спочатку випрямляється, а потім перетворюється (інвертується) у змінний потрібної регульованої частоти. При зниженні частоти

індуктивні опори статора та ротора зменшуються пропорційно f , тому струм буде збільшуватися і машина – перегріватися. Таким чином, необхідно зі зменшенням частоти зменшувати і напругу, тобто слідувати пропорційному закону регулювання ($U/f = const$).

$$\frac{U_1}{U_{1\text{ном}}} = \frac{f_1}{f_{1\text{ном}}} \text{ або } \frac{U_1}{f_1} = const. \quad (2.34)$$

Механічні характеристики двигуна при такому законі регулювання зображені на рис. 2.5.а. Якщо регулювання проводиться з постійною допустимою потужністю $P = P_{\text{ном}}$, тоді:

$$\dot{I}_{\bar{n}} = \frac{D_{1\dot{i}\dot{i}}}{\omega} = \dot{I}_{\bar{n}\dot{i}\dot{i}} \cdot \frac{\omega_{1\dot{i}\dot{i}}}{\omega}. \quad (2.35)$$

Можна вважати, що швидкість асинхронного двигуна пропорційна частоті, тоді:

$$M_c = M_{c.\text{ном}} \cdot \frac{f_{1.\text{н.н}}}{f_1}. \quad (2.36)$$

Підставляючи це значення, одержимо:

$$\frac{U_1}{U_{1.\text{н.н}}} = \sqrt{\frac{f_1}{f_{1.\text{н.н}}}} \text{ або } \frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const. \quad (2.37)$$

Механічні характеристики двигуна при зміні напруги пропорційно кореню квадратному із частоти представлені на рис.2.5.б

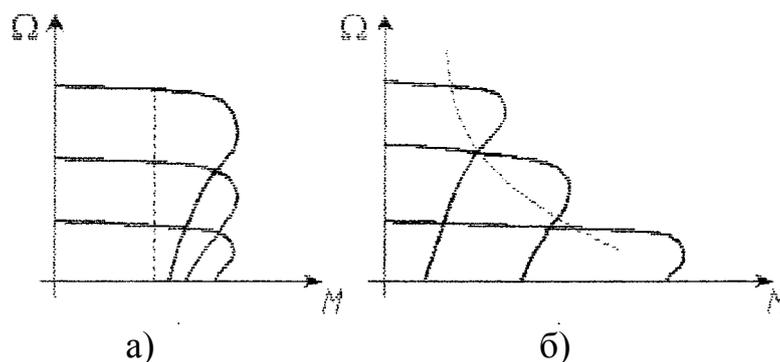


Рисунок 2.5 Механічні характеристики ЕД при регулюванні швидкості з постійним моментом (а) і постійною потужністю(б)

Із-за своєї простоти залежності (2.36) і (2.38) широко застосовуються, на практиці але вони являються наближеними і не забезпечують оптимального регулювання АД. При малих частотах і малих напругах на АД зростає роль спаду напруги на активному опорі статора. Якщо знижувати напругу статора пропорційно частоті, то це приведе до зменшення магнітного потоку двигуна. Тому в частотному приводі напруга повинна зменшуватись в меншій мірі, ніж це слідує із (2.36). Для цього використовують систему IR- компенсації в якій закон регулювання (2.36) замінюють співвідношенням:

$$\frac{|U_1 - I_1 R_1|}{f_1} = \text{const} . \quad (2.38)$$

У приводах, у яких проводиться компенсація спаду напруги на опорі статора, підтримується постійне співвідношення між частотою і напругою $|U_1 - I_1 R_1|$. Ця напруга відрізняється від напруги мережі на величину спаду напруги на активному опорі статора.

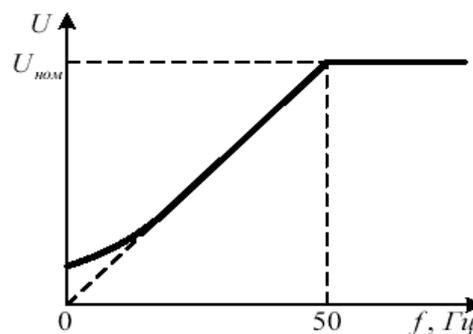


Рисунок 2.6 Закон регулювання $U/f = \text{const}$ у перетворювачах частоти

Підвищення напруги відносно закону $U/f = \text{const}$ показано на рис.2.6. В області малих частот напругу живлення збільшують відносно лінійного закону. В області високих частот напруга живлення доходить до номінального значення і далі свій ріст припиняє. Збільшувати її більше номінальної не можна, тому що під цей рівень напруги розраховується ізоляція двигуна при проектуванні. Спрощена схема частотного привода з IR- компенсацією представлена на

рис.2.7. У приводі використаний АІН з проміжним керуючим випрямлячем (КВ) [6].

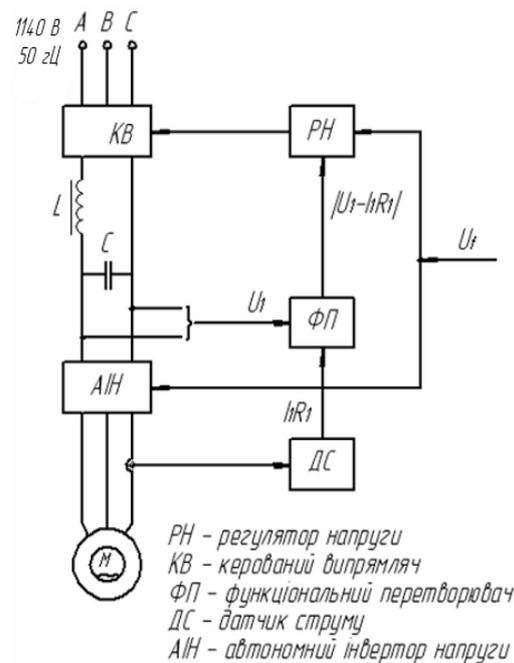


Рисунок 2.7 Схема частотного регульованого електроприводу з ІR-компенсацією

Сигнал U_f , який визначає задану частоту, поступає на регулятор напруги (РН) і систему керування тиристорами інвертора. Датчик струму (ДС) проводить вимірювання струму статора I_1 і виробляє напругу, яка пропорційна спаду напруги на опорі статора $I_1 R_1$. У функціональному перетворювачі (ФП) утворюється модуль різниці напруги на статорі АД і спаду напруги $I_1 R_1$, який поступає на регулятор напруги. Цей регулятор виробляє керуючу дію, яка поступає на тиристорний випрямляч і реалізує залежність (2.38). У результаті вихідна напруга тиристорного керованого випрямляча змінюється таким чином, щоб забезпечити необхідний зв'язок між напругою і частотою. Очевидно, що у приводі з ІR- компенсацією існує зворотній зв'язок за напругою статора. Крім того, у цих приводах застосовують зворотні зв'язки за швидкістю, струмом і т. д. (ці зворотні зв'язки на рис.2.7 не показані).

2.2 Дослідження механічних характеристик привода конвеєра

Розрахунок механічних характеристик електропривода

Запишемо залежності за допомогою яких зможемо побудувати природну та штучні характеристики [9].

Величину критичного ковзання можливо змінювати змінюючи частоту живлення. Запишемо формулу через яку це можна реалізувати :

$$S_{ki} = \frac{R_r}{\sqrt{R_s^2 + X_k^2}}. \quad (2.39)$$

До складу цієї формули входить величина реактивного опору короткого замикання X_k яка залежить прямо пропорційно величині частоти живлення.

Якщо ми хочемо побудувати характеристики без IR – компенсацією, то критичний момент буде не постійним а залежатиме від опору статора та реактивного опору короткого замикання і від частоти обертання валу двигуна:

$$M_{ki} = \frac{3}{2} \cdot \frac{U^2}{\omega_{ci} \cdot (R_s + \sqrt{R_s^2 + X_{ki}^2})}. \quad (2.40)$$

Момент же навантаження для побудови характеристики з IR – компенсацією буде постійним так як опір статора прирівнюється до нуля.

Залежність частоти обертання валу двигуна від ковзання зобразимо як:

$$\omega_i(S) = \omega_{ci} \cdot (1 - S), \quad (2.41)$$

де ω_{ci} – частота обертання вала двигуна при відповідній частоті живлення.

$$\omega_{ci} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_i}{p}. \quad (2.42)$$

Відповідно до формули Клосса вираз природної механічної характеристики буде мати наступний вигляд:

$$S = -1, -0,9999..1.$$

$$M_i(S) = \frac{2 \cdot M_{ki} \cdot (1 + S_{ki} \cdot \frac{R_s}{R_r})}{\frac{S}{S_{ki}} + \frac{S_{ki}}{S} + 2 \cdot S_{ki} \cdot \frac{R_s}{R_r}}. \quad (2.43)$$

Розрахуємо характеристики для $f_1 = 50$ Гц, $f_2 = 40$ Гц, $f_3 = 30$ Гц,

$f_4 = 20$ Гц, $f_5 = 10$ Гц:

$f_1 = 50$ Гц:

$$U_1 = \frac{U_n \cdot f_1}{50} = \frac{1140 \cdot 50}{50} = 1140 \text{ В};$$

$$\omega_{c1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{2} = 157.1 \text{ рад/с}.$$

$$M_{k1} = \frac{3}{2} \cdot \frac{U^2}{\omega_{c1} \cdot (R_s + \sqrt{R_s^2 + X_{k1}^2})};$$

$$M_{k1} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1140^2}{157.1 \cdot (0.000127 + \sqrt{0.000127^2 + 0.867^2})} = 3149 \text{ Нм}.$$

$$\omega_1(S) = \omega_{c1} \cdot (1 - S);$$

$$M_1(S) = \frac{2 \cdot M_{k1} \cdot (1 + S_{k1} \cdot \frac{R_s}{R_r})}{\frac{S}{S_{k1}} + \frac{S_{k1}}{S} + 2 \cdot S_{k1} \cdot \frac{R_s}{R_r}}.$$

$f_2 = 40$ Гц:

$$U_2 = \frac{U_n \cdot f_2}{50} = \frac{1140 \cdot 40}{50} = 912 \text{ В};$$

$$\omega_{c2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_2}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 40}{2} = 125.66 \text{ рад/с}.$$

$$M_{k2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{U^2}{\omega_{c2} \cdot (R_s + \sqrt{R_s^2 + X_{k2}^2})};$$

$$M_{k2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{912^2}{125.66 \cdot (0.000127 + \sqrt{0.000127^2 + 0.694^2})} = 3149 \text{ Нм}.$$

$$\omega_2(S) = \omega_{c2} \cdot (1-S);$$

$$M_2(S) = \frac{2 \cdot M_{k2} \cdot (1 + S_{k2} \cdot \frac{R_s}{R_r})}{\frac{S}{S_{k2}} + \frac{S_{k2}}{S} + 2 \cdot S_{k2} \cdot \frac{R_s}{R_r}}.$$

$f_3 = 30 \text{ Гц}$:

$$U_3 = \frac{U_n \cdot f_3}{50} = \frac{1140 \cdot 30}{50} = 684 \text{ В};$$

$$\omega_{c3} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_3}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 30}{2} = 94.25 \text{ рад/с}.$$

$$M_{k3} = \frac{3}{2} \cdot \frac{U^2}{\omega_{c3} \cdot (R_s + \sqrt{R_s^2 + X_{k3}^2})};$$

$$M_{k3} = \frac{3}{2} \cdot \frac{684^2}{94.25 \cdot (0.000127 + \sqrt{0.000127^2 + 0.52^2})} = 3148 \text{ Нм}.$$

$$\omega_3(S) = \omega_{c3} \cdot (1-S);$$

$$M_3(S) = \frac{2 \cdot M_{k3} \cdot (1 + S_{k3} \cdot \frac{R_s}{R_r})}{\frac{S}{S_{k3}} + \frac{S_{k3}}{S} + 2 \cdot S_{k3} \cdot \frac{R_s}{R_r}}.$$

$f_4 = 20 \text{ Гц}$:

$$U_4 = \frac{U_n \cdot f_4}{50} = \frac{1140 \cdot 20}{50} = 456 \text{ В};$$

$$\omega_{c4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_4}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 20}{2} = 62.83 \text{ рад/с}.$$

$$M_{k4} = \frac{3}{2} \cdot \frac{U^2}{\omega_{c4} \cdot (R_s + \sqrt{R_s^2 + X_{k4}^2})};$$

$$M_{k4} = \frac{3}{2} \cdot \frac{456^2}{62.83 \cdot (0.000127 + \sqrt{0.000127^2 + 0.347^2})} = 3148 \text{ Нм}.$$

$$\omega_4(S) = \omega_{c4} \cdot (1-S);$$

$$M_4(S) = \frac{2 \cdot M_{k4} \cdot (1 + S_{k4} \cdot \frac{R_s}{R_r})}{\frac{S}{S_{k4}} + \frac{S_{k4}}{S} + 2 \cdot S_{k4} \cdot \frac{R_s}{R_r}}.$$

$f_5 = 10 \text{ Гц}$:

$$U_5 = \frac{U_n \cdot f_5}{50} = \frac{1140 \cdot 10}{50} = 228 \text{ В};$$

$$\omega_{c5} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_5}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 40}{2} = 31.42 \text{ рад/с}.$$

$$M_{k5} = \frac{3}{2} \cdot \frac{U^2}{\omega_{c5} \cdot (R_s + \sqrt{R_s^2 + X_{k5}^2})};$$

$$M_{k5} = \frac{3}{2} \cdot \frac{228^2}{31.42 \cdot (0.000127 + \sqrt{0.000127^2 + 0.173^2})} = 3147 \text{ Нм}.$$

$$\omega_5(S) = \omega_{c5} \cdot (1-S);$$

$$M_5(S) = \frac{2 \cdot M_{k5} \cdot (1 + S_{k5} \cdot \frac{R_s}{R_r})}{\frac{S}{S_{k5}} + \frac{S_{k5}}{S} + 2 \cdot S_{k5} \cdot \frac{R_s}{R_r}}.$$

За отриманими результатами можемо побудувати штучні механічні характеристики.

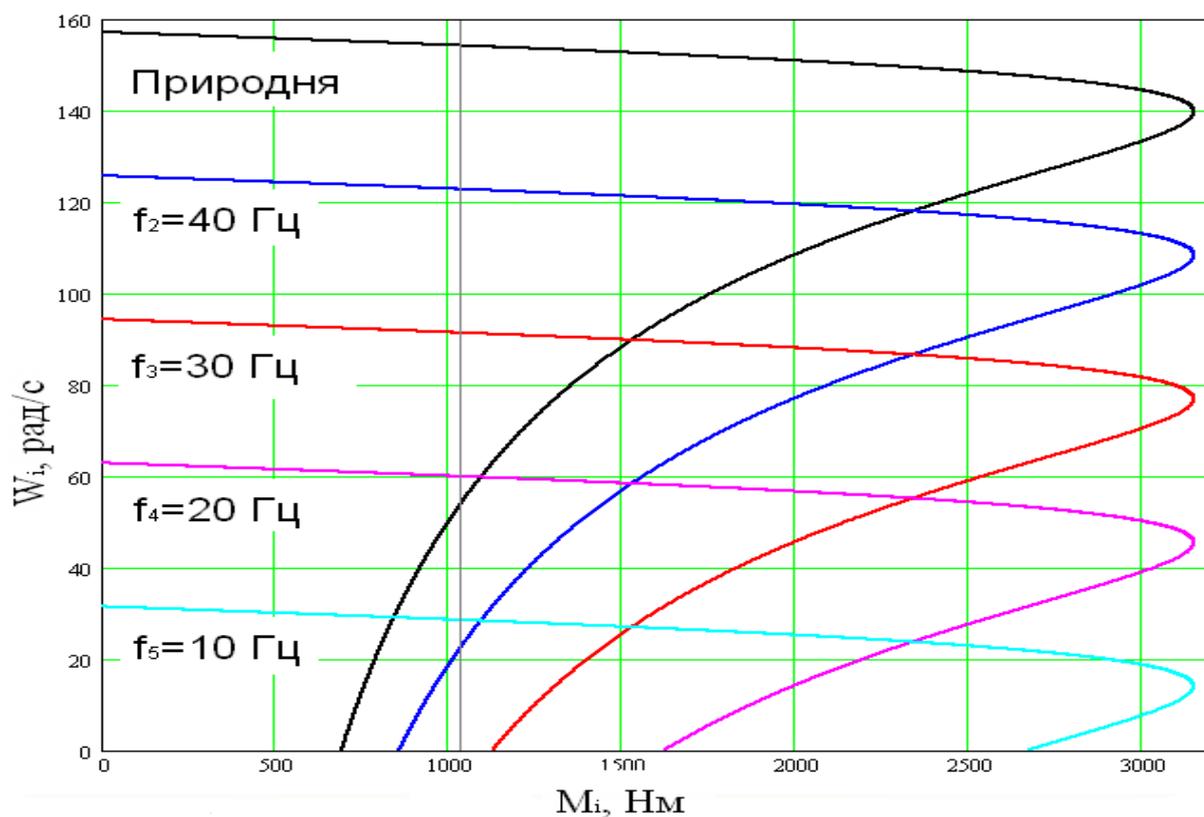


Рисунок 2.8 Природна та штучні механічні характеристики приводу конвеєра без IR – компенсації.

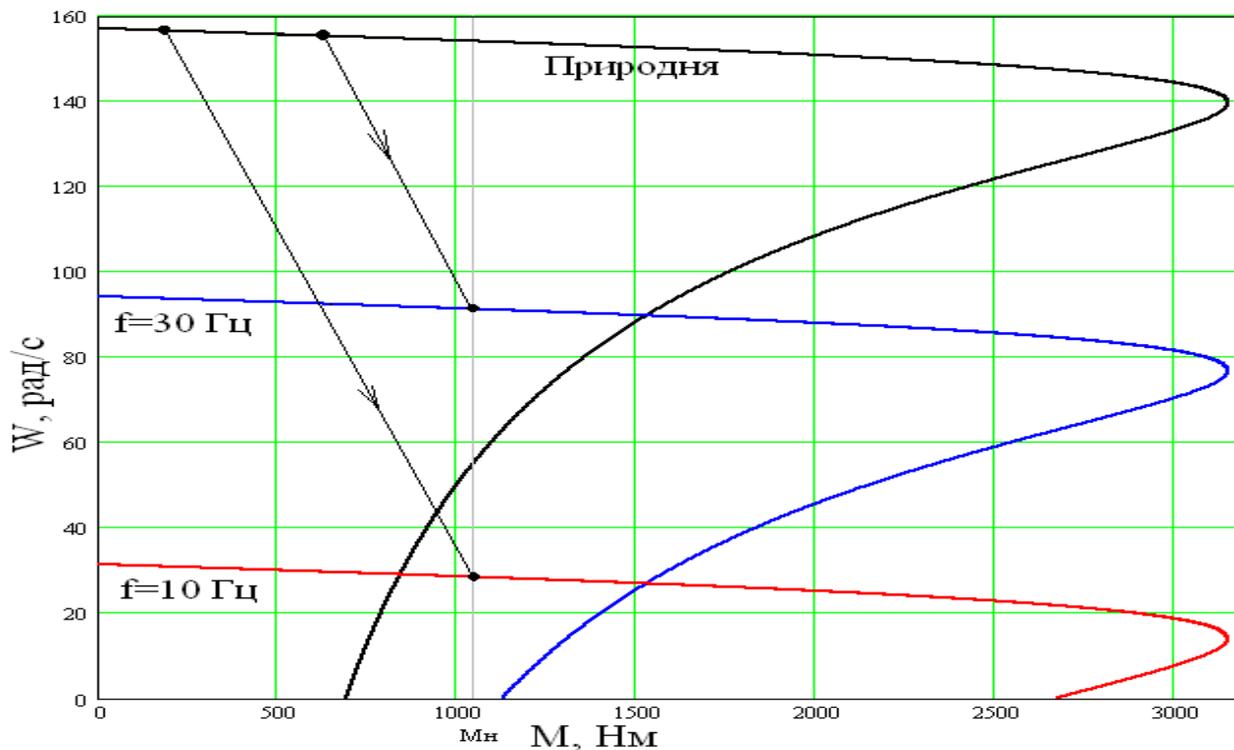


Рисунок 2.9 Зображення переходу робочої точки при зміні навантаження на відповідній підстроєній частоті.

Якщо побудуємо за такою ж методикою характеристики з IR – компенсацією, то отримаємо:

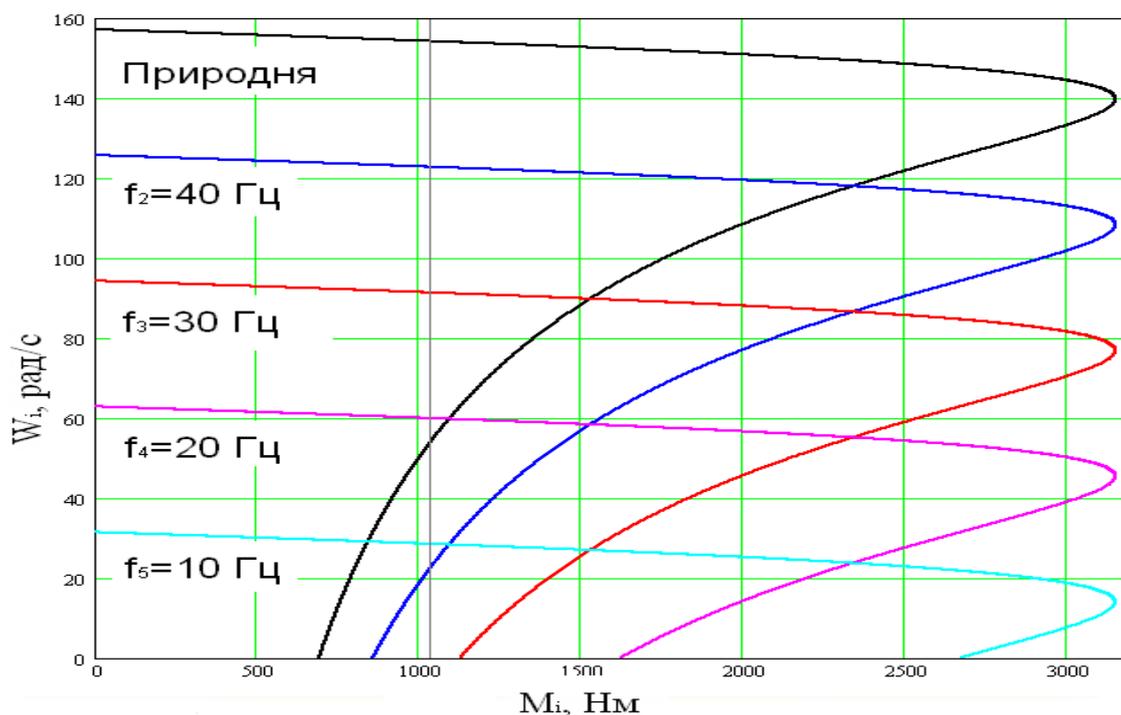


Рисунок 2.10 Природна та штучні механічні характеристики приводу конвеєра з IR – компенсацією

У першому випадку критичний момент не постійний і зі зменшенням частоти живлення зменшується, але зменшується дуже повільно, тому цей процес на графіку не помітний. Причиною цьому слугує мала величина активного опору статора.

У другому ж випадку прирівнюємо опір статора до нуля, таким чином фіксуємо критичний момент на одному значенні і отримуємо на перший погляд однаковий графік але це насправді не так.

2.3 Розрахунок силової частини випрямляча

Випрямлячем називається пристрій призначений для перетворення енергії джерела змінного струму в постійний струм. Необхідність в подібному перетворенні з'являється, коли живлення користувача здійснюється постійним

струмом, а джерелом електричної енергії є джерело змінного струму, наприклад промислова мережа частотою 50 Гц.

Принцип випрямлення базується на отриманні за допомогою тиристорної схеми із двополярних напруг однополярних напівхвиль напруги, які після фільтра стають згладженими. При великих потужностях навантаження задачу перетворення електричної енергії змінного струму в постійний струм вирішують за допомогою 3-фазних керованих випрямлячів, виконаних за мостовою схемою.

Схема імпульсно-фазового керування забезпечує, подачу відкриваючих імпульсів на тиристири перетворювача і разом з перетворювачем вирішує комплекс задач, пов'язаних з формуванням і регулюванням його вихідної напруги.

Загальними вимогами, що пред'являються до системи керування перетворювачем є:

- 1) надійність відкривання тиристорів силової схеми в усіх режимах її роботи;
- 2) плавне (в необхідному діапазоні) регулювання кута α подачі керуючих імпульсів на тиристири;
- 3) висока завадостійкість і надійність.

Для розрахунку силової частини випрямляча перетворювача частоти з автономним інвертором напруги потрібні наступні параметри: $U_{1л} = 1,14$ кВ – лінійна напруга мережі; схема з'єднання обмоток трансформатора – зірка/зірка; $U_{дн}$ (В) – номінальна випрямлена напруга; $I_{дн}$ (А) – номінально випрямлений струм навантаження. Схема випрямляча – трифазна мостова.

Значення $U_{дн}$ можна знайти через діюче значення вихідної напруги інвертора:

$$U_{2д} = \frac{\sqrt{\gamma_1 + 1}}{\sqrt{6}} \cdot U_{дн}. \quad (2.44)$$

Звідси

$$U_{dн} = \frac{\sqrt{6} \cdot U_{2\vartheta}}{\sqrt{\frac{\gamma_1}{\pi} + 1}}, \quad (2.45)$$

де γ_1 - кут одночасної роботи тиристорів основної і оберненої груп в АІН.

Він знаходиться з формули:

$$\gamma_1 = \operatorname{tg}\varphi \ln \frac{4a - 5}{a - 2}, \quad (2.46)$$

де φ - кут здвигу перших гармонік напруги та струму двигуна;

$$a = \exp\left(-\frac{\pi}{3 \cdot \operatorname{tg}\varphi}\right). \quad (2.47)$$

Номінально випрямлений струм:

$$I_{dн} = \frac{\frac{3}{\sqrt{2}} \cdot U_{dн}}{\pi^2 \cos\varphi \cdot Z} \left(\frac{\pi}{6} + \frac{1}{6} \gamma_1 - \frac{a-1}{a-2} \operatorname{tg}\varphi \right), \quad (2.48)$$

де Z – сумарний опір статора двигуна.

$$Z = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}. \quad (2.49)$$

Значення φ знайдемо через параметр двигуна $\cos\varphi = 0,86$:

$$\varphi = \arccos(0.86) = 30.68^\circ;$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}(30.68) = 0.6;$$

$$a = \exp\left(-\frac{\pi}{3 \cdot 0.6}\right) = 175 \cdot 10^{-3};$$

$$\gamma_1 = 0.6 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 175 \cdot 10^{-3} - 5}{175 \cdot 10^{-3} - 2}\right) = 514 \cdot 10^{-3};$$

$$Z = \sqrt{0.000127^2 + 0.433^2} = 0.433 \text{ Ом};$$

$$U_{di} = \frac{\sqrt{6} \cdot 660}{\sqrt{\frac{514 \cdot 10^{-3}}{\pi} + 1}} = 1498,7 \text{ В};$$

$$I_{di} = \frac{\frac{3}{\sqrt{2}} \cdot 1498,7}{\pi^2 \cdot 0,86 \cdot 0,433} \cdot \left(\frac{\pi}{6} + \frac{1}{6} \cdot 514 \cdot 10^{-3} - \frac{175 \cdot 10^{-3} - 1}{175 \cdot 10^{-3} - 2} \cdot 0,6 \right) = 128,34 \text{ А.}$$

Проведемо розрахунок потужності на навантаженні:

$$P_{dH} = U_{dH} \cdot I_{dH}; \quad (2.50)$$

$$P_{di} = 1498,7 \cdot 128,34 = 192343,16 \text{ ВА.}$$

Габаритна потужність трансформатора (без урахування процесу комутації):

$$S_t = 1,045 \cdot P_{dH}; \quad (2.51)$$

$$S_t = 1,045 \cdot 192343,16 = 200998,6 \text{ ВА.}$$

З умови $S_{tr} > S_t$ попередньо було вибрано потужність трансформатора 630 кВА, після першого етапу розрахунку з урахуванням процесу комутації і 10%-го підвищення напруги, ця потужність задовольняє розраховану, отже залишаємо вибраний трансформатор ТМН-630, який має характеристики:

Параметри трансформатора ТМН-630

Таблиця 2.3

Тип	S_T , кВА	$U_{вх}$, кВ	$U_{вих}$, кВ	$I_{хх}$, %	U_K , %
ТМН-630	630	35	6,3-0,4	1,5	6,5

Визначемо U_{d0} з рівняння характеристики регулювання випрямляча (при куті регулювання $\alpha = 0$).

$$U_{d0} = \frac{U_{dH}}{\left(\cos \alpha - B \cdot \frac{U_{k\%}}{100} \right)}; \quad (2.52)$$

$$U_{d0} = \frac{1498,7}{1 - 0,5 \cdot \frac{6,5}{100}} = 1549 \text{ В:}$$

де U_{d0} – напруга холостого ходу випрямляча.

Для трифазної мостової схеми $B = 0,5$.

Визначаємо номінальну фазову напругу вторинної обмотки трансформатора U_{2H} з виразу зовнішньої характеристики керованого випрямляча з урахуванням комутації:

$$U_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot U_{2н} = 2,34 \cdot U_{2н}; \quad (2.53)$$

$$U_{2н} = \frac{U_{d0}}{2,34}; \quad (2.54)$$

$$U_{2н} = \frac{1549}{2,34} = 662 \text{ В.}$$

Необхідна лінійна напруга $U_{2лн}$ становить:

$$U_{2лн} = U_{2н} \cdot \sqrt{3}; \quad (2.55)$$

$$U_{2лн} = 662 \cdot \sqrt{3} = 1146,6 \text{ В.}$$

Вибираємо лінійну напругу вторинної обмотки потужного трансформатора з номінального ряду 230В, 380В, 660В, 825В, 1140В. $U_{2лн} = 1140 \text{ В.}$

Звідки фазна напруга становить:

$$U_2 = \frac{U_{2л}}{\sqrt{3}}; \quad (2.56)$$

$$U_2 = \frac{1140}{\sqrt{3}} = 658,18 \text{ В.}$$

Знаходимо U_{d0} для вибраного значення фазної напруги вторинної обмотки трансформатора U_2 :

$$U_{d0} = 2,34 \cdot U_2; \quad (2.57)$$

$$U_{d0} = 2,34 \cdot 658,18 = 1540,14 \text{ В.}$$

За відомими значеннями $U_{1л}$ і U_2 (U_2 — напруга не на вторинній обмотці трансформатора, а та, яка використовується для розрахунку випрямляча, що живиться від вторинної обмотки трансформатора, з'єднаної зіркою), з урахуванням 10%-го коливання напруги, визначимо коефіцієнт трансформації силового трансформатора:

$$n_{mp} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{0,9 \cdot U_{1л}}{\sqrt{3} \cdot U_2}; \quad (2.58)$$

$$n_{mp} = \frac{0,9 \cdot 1140}{\sqrt{3} \cdot 658,18} = 900 \cdot 10^{-3}.$$

Фазний діючий струм вторинної обмотки трансформатора за умови, що випрямлений струм ідеально згладжений ($L_n \rightarrow \infty$), дорівнює:

$$I_2 = 0,81 \cdot I_{dH}; \quad (2.59)$$

$$I_2 = 0,81 \cdot 128,34 = 103,955 \text{ А.}$$

Діючий струм первинної обмотки трансформатора, пов'язаний зі струмом вторинної обмотки коефіцієнтом трансформації, визначається за формулою:

$$I_1 = \frac{0,81 \cdot I_{dH}}{n_{mp}}; \quad (2.60)$$

$$I_1 = \frac{0,81 \cdot 103,955}{900 \cdot 10^{-3}} = 93,56 \text{ А.}$$

Знаходимо значення кутів регулювання за формулами:

$$\alpha_n = \arccos\left(\frac{U_{dH}}{U_{d0}} + \frac{B \cdot U_{k\%}}{100}\right); \quad (2.61)$$

$$\alpha_i = \arccos\left(\frac{1498,7}{1540,14} + \frac{0,5 \cdot 6,5}{100}\right) = 13,46;$$

$$\alpha_n = \arccos\left(\frac{U_{dH}}{U_{d0} \cdot 2} + \frac{B \cdot U_{k\%}}{100}\right); \quad (2.62)$$

$$\alpha_i = \arccos\left(\frac{1498,7}{1540,14 \cdot 2} + \frac{0,5 \cdot 6,5}{100}\right) = 58,73^\circ.$$

Потужність вторинної обмотки трансформатора S_2 , з урахуванням 10% зміни напруги, знаходимо через добуток значення кількості фаз m , фазної напруги вторинної обмотки трансформатора і струму вторинної обмотки. Звідси:

$$S_2 = m \cdot 1,1 \cdot U_2 \cdot I_2; \quad (2.63)$$

$$S_2 = 3 \cdot 1,1 \cdot 658,18 \cdot 128,34 = 278,75 \cdot 10^3 \text{ кВА.}$$

Типова потужність трансформатора для трифазної мостової схеми дорівнює:

$$S_t \approx S_2 = 278.75 \cdot 10^3 \text{ кВА.} \quad (2.64)$$

Коефіцієнт використання трансформатора:

$$K_t = \frac{P_{dh}}{S_t}; \quad (2.65)$$

$$K_t = \frac{192343.16}{278750} = 690 \cdot 10^{-3}.$$

Знайдемо сумарний індуктивний опір розсіяння, приведений до вторинної обмотки трансформатора:

$$X_a = \frac{U_{k\%} \cdot U_2}{I_2 \cdot 100}; \quad (2.66)$$

$$X_a = \frac{6.5 \cdot 658.18}{128.34 \cdot 100} = 333.35 \cdot 10^{-3}.$$

Тепер визначаю кути комутації струму випрямляча з формули:

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) = \frac{2 \cdot I_{dh} \cdot X_a}{\sqrt{6} \cdot U_2}; \quad (2.67)$$

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) = \frac{2 \cdot 128.34 \cdot 333.35 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{6} \cdot 658.18} = 53.07 \cdot 10^{-3}.$$

При куті регулювання $\alpha = \alpha_n$:

$$\gamma = \arccos[\cos(\alpha_n) - (\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma))] - \alpha_n; \quad (2.68)$$

$$\gamma = \arccos[\cos(13.46^0) - 53.07 \cdot 10^{-3}] - 13.46^0 = 9.69^0.$$

При куті регулювання $\alpha = \alpha_{n1}$:

$$\gamma_1 = \arccos[\cos(58.73^0) - 53.07 \cdot 10^{-3}] - 58.73^0 = 3.49^0.$$

Знаходимо кут зсуву першої гармоніки для 2-х випадків:

а) при $\alpha = \alpha_n$:

$$\varphi = \alpha_n + \frac{\gamma}{2}; \quad (2.69)$$

$$\varphi = 13.46^0 + \frac{9.69^0}{2} = 18.305^0;$$

б) при $\alpha = \alpha_{n1}$:

$$\varphi_1 = \alpha_{n1} + \frac{\gamma_1}{2}; \quad (2.70)$$

$$\varphi = 58.73^\circ + \frac{3.49^\circ}{2} = 60.475^\circ;$$

Коефіцієнт спотворення форми кривої змінного струму, що споживається з мережі (коефіцієнт несинусоїдальності) при $L_n \rightarrow \infty$ для трифазної мостової схеми дорівнює:

$$K_c = \frac{3}{\pi} = 0,955. \quad (2.71)$$

Розрахую коефіцієнт потужності випрямляча:

$$\lambda = K_c \cdot \cos \varphi; \quad (2.72)$$

а) при $\alpha = \alpha_n$:

$$\lambda = 0.955 \cdot \cos(18.305^\circ) = 906.68 \cdot 10^{-3}; \quad (2.73)$$

б) при $\alpha = \alpha_{n1}$:

$$\lambda = 0.955 \cdot \cos(60.475^\circ) = 470.63 \cdot 10^{-3}. \quad (2.74)$$

Розраховуємо $I_{асер}$ і $U_{звmax}$ для вибору тиристорів.

Обернену максимальну напругу вибираю з урахування коливань мережі $\pm 10\%$, а також з урахуванням комутаційних перенапружень. Тому в формулу розрахунку $U_{звmax}$ вводимо коефіцієнт 1,4.

$$I_{асер} \geq I_a = \frac{I_{dH}}{3}; \quad (2.75)$$

$$I_{асер} \geq I_a = \frac{128.34}{3} = 42.78 \text{ А};$$

$$U_{звmax} \geq \frac{1,4 \cdot \pi \cdot U_{d0}}{3}; \quad (2.76)$$

$$U_{звmax} \geq \frac{1,4 \cdot \pi \cdot 1540.14}{3} = 2256.8 \text{ В.}$$

Вибираю тиристор типу Т-143-50. Максимально допустимий середній струм у відкритому стані - $I_{асер} = 50$ А, повторююча імпульсна напруга у закритому стані $U_{звmax} = 1800 - 2400$ В.

Характеристики тиристора Т-143-50 [11]:

$$\begin{array}{lll}
 I_{\text{асер}} = 50 \text{ А} & U_{\text{звmax}} = 1800 - & t_{\text{вкл}} = 30 \text{ мкс} \\
 & 2400 \text{ В} & \\
 U_{\text{к}} = 3,5 \text{ В} & I_{\text{вкл}} = 300 \text{ мА} & dU_{\text{а}} = 2,15 \text{ В}
 \end{array}$$

Втрати потужності на вентилях розрахую за формулою:

$$dP_a = m_{\text{тур}} \cdot dU_a \cdot I_a : \quad (2.77)$$

де - $m_{\text{тур}}$ кількість тиристорів у випрямлячі (для даної схеми становить 6);

dU_a - падіння напруги на тиристорах;

I_a - прямиий струм тиристора.

$$dP_a = 6 \cdot 2.15 \cdot 50 = 645 \text{ В.}$$

Для розрахунку коефіцієнта корисної дії випрямляча, без урахування споживання енергії СІФК, знайдемо його значення для 2-х випадків: при вихідній напрузі $U_d = U_{dn}$ і $U_d = U_{dn}/2$.

Для цього попередньо знаходжу коефіцієнти завантаження для 2-х випадків:

$$а) \beta = \frac{U_d}{U_{dn}} = \frac{U_{dn}}{U_{dn}} = 1;$$

$$\eta = \frac{\beta \cdot P_{dn}}{\beta \cdot P_{dn} + \beta^2 \cdot dP_a + P_0 + \beta^2 \cdot P_k} : \quad (2.78)$$

де P_{dn} - номінальна корисна потужність;

dP_a - втрати потужності на вентилях;

P_0 - втрати у магнітопроводі трансформатора;

P_k - втрати в обмотках трансформатора.

$$\eta = \frac{1 \cdot 149,6 \cdot 10^3}{1 \cdot 149,6 \cdot 10^3 + 1^2 \cdot 645 + 0,29 + 1^2 \cdot 0,98} = 995,7 \cdot 10^{-3};$$

$$б) \beta_1 = \frac{U_d}{U_{dn}} = \frac{U_{dn}}{2 \cdot U_{dn}} = 0,5;$$

$$\eta = \frac{0,5 \cdot 149,6 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 149,6 \cdot 10^3 + 0,5^2 \cdot 645 + 0,29 + 0,5^2 \cdot 0,98} = 997,8 \cdot 10^{-3}.$$

2.4 Дослідження якості регулювання швидкості при різних завантаженнях конвеєру

Необхідність забезпечення запасу стійкості.

1. При складанні рівнянь ланок системи, фізичні процеси системи ідеалізуються, відкидається маса другорядних факторів.
2. Похибки лінеаризації.
3. Параметри системи, що входять у коефіцієнти рівнянь (маса, момент інерції, ємності, опори, індуктивності, коефіцієнти підсилення) розраховуються з похибкою, яка досягає 10% і залежить від методів вимірювання і точності приладів.
4. Похибки експерименту та обробки результатів.
5. Розсіювання параметрів елементів системи внаслідок технологічних допусків при їх виробництві.
6. Старіння елементів у процесі експлуатації.
7. Нестабільність параметрів довкілля (t^0, P) .
8. Достатніми запасами стійкості вважаються значення $\Delta L(\omega) \geq 6 - 12$ дБ, $\Delta \psi(\omega) \geq 30^\circ$.

Тому вводять запаси стійкості, які передбачають можливі відхилення розрахункових параметрів системи від дійсних.

За побудованими ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкнених САК ми визначили параметри стійкості.

Побудуємо графік перехідного процесу двигуна з ПД регулятором.

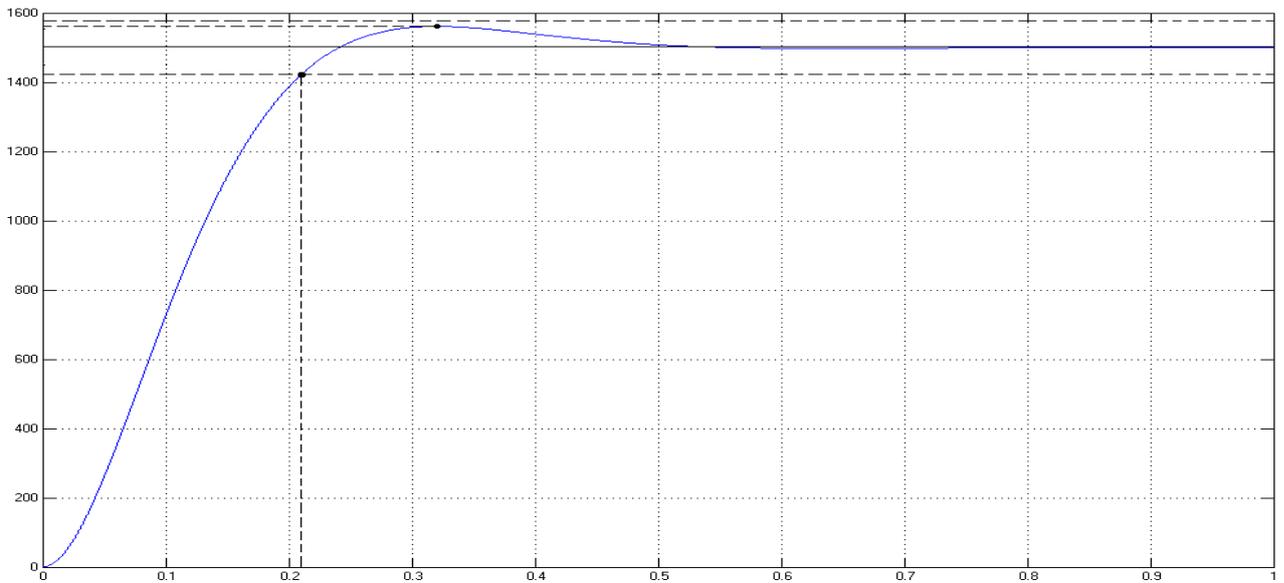


Рисунок 2.11 Перехідний процес пуску двигуна при $J_{\text{зар}2}$ (ПД регулятор).

Час перехідного процесу $t_{\text{пн}} = 0.21$ с.

Пере регулювання $\delta_{\text{під}} = 4.23\%$

Побудуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ в системі керування з максимальним моментом інерції.

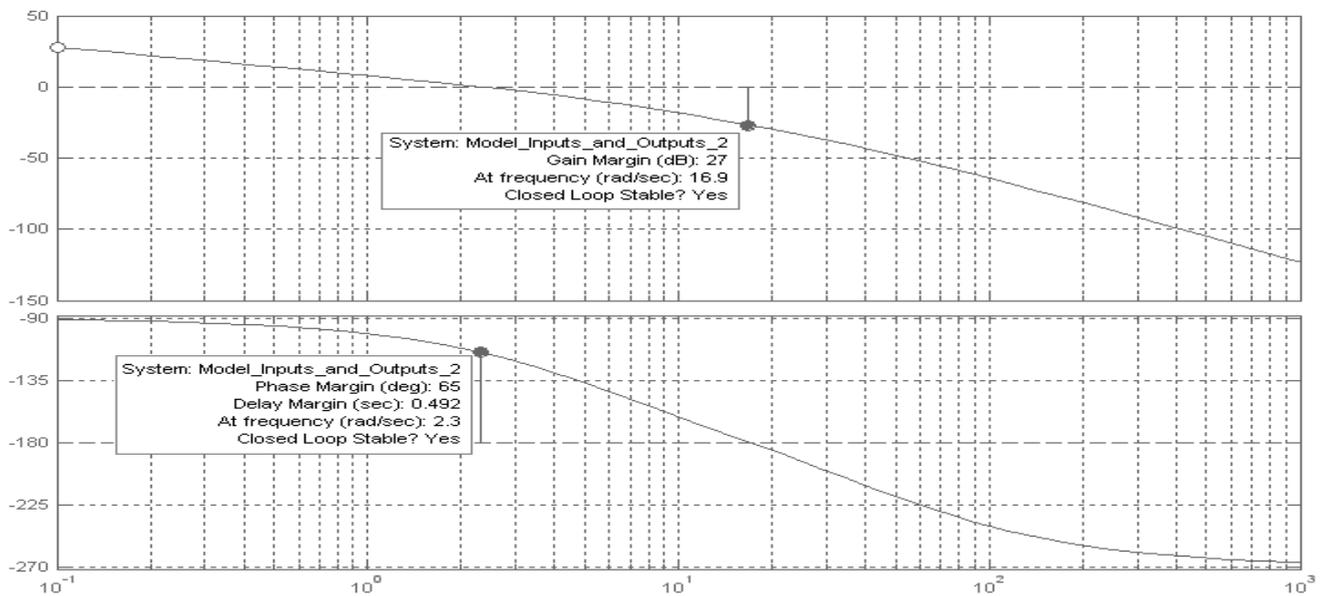


Рисунок 2.12 ЛАЧХ і ЛФЧХ в САК з максимальним моментом інерції (ПД-регулятор).

- запас стійкості за фазою $\Delta\psi(\omega) = 65^\circ$;
- запас стійкості за амплітудою $\Delta L(\omega) = 27$ дБ.

Побудуємо графіки перехідних процесів при мінімальному моменту інерції з ПІД регулятором.

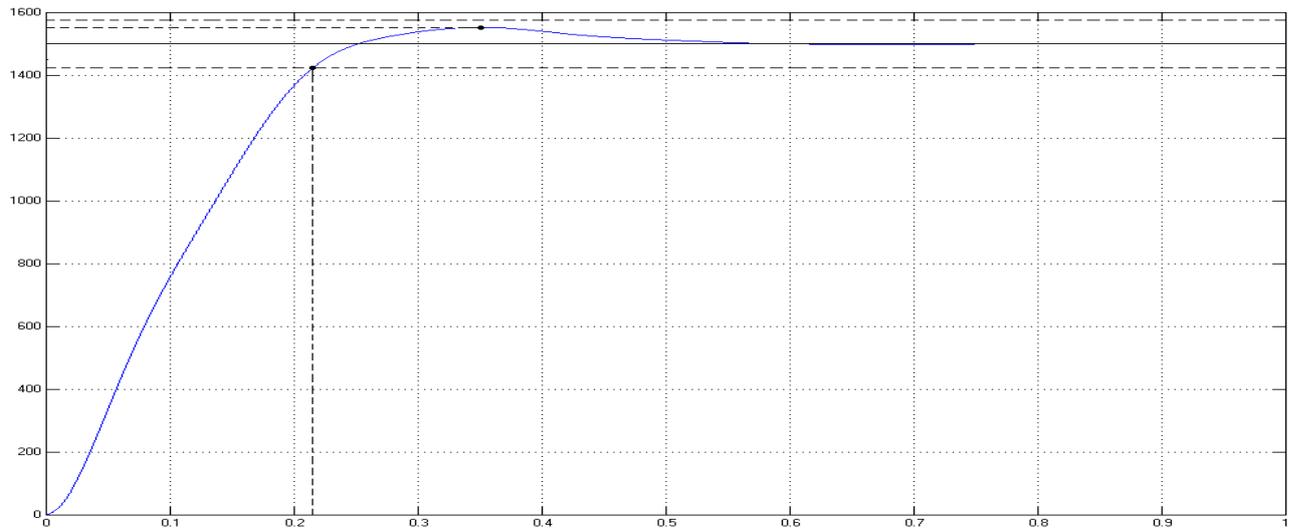


Рисунок 2.13 Перехідний процес пуску двигуна при $J_{зад1}$ (ПІД регулятор).

Час перехідного процесу $t_{під} = 0.22$ с.

Перерегулювання $\delta_{під} = 4.25\%$

Побудуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ в системі керування з мінімальним моментом інерції на валу.

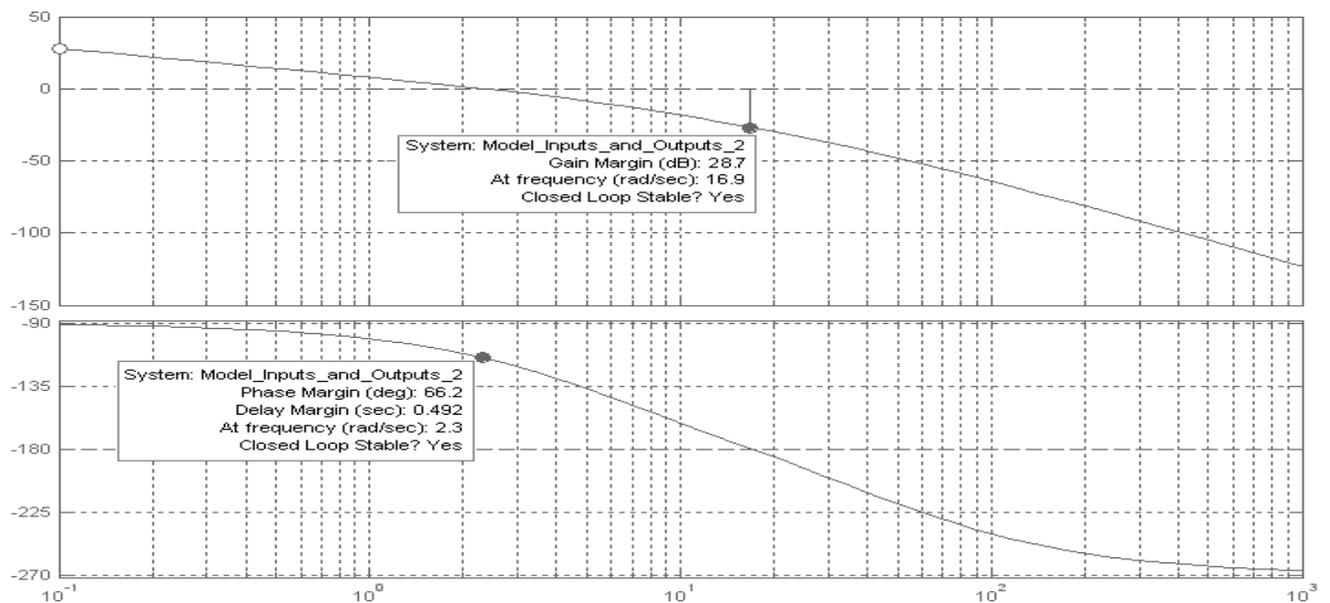


Рисунок 2.14 ЛАЧХ і ЛФЧХ в САК з мінімальним моментом інерції (ПІД-регулятор).

- запас стійкості за фазою $\Delta\psi(\omega) = 66,2^\circ$;

- запас стійкості за амплітудою $\Delta L(\omega) = 28,7$ дБ.

Висновок: зміна моменту інерції суттєво не впливає на якість регулювання.

Запас стійкості по частоті збільшився при зменшенні моменту інерції.

Збільшився також запас стійкості по фазі.

Спрощення регулятора.

Дана система не слідкуюча з низькою швидкодією, тому нема необхідності застосування Д складової в регуляторі, що використовують в слідкуючих системах з високою швидкодією, також Д складова створює проблему завадозахищеності. Тому перейдемо від ПД до ПІ-регулятора і методами теорії автоматичного керування обґрунтуємо перехід.

Побудуємо графіки перехідних процесів пуску двигуна.

В першу чергу зобразимо графік перехідного процесу без Д складової з максимальним моментом інерції на валу.

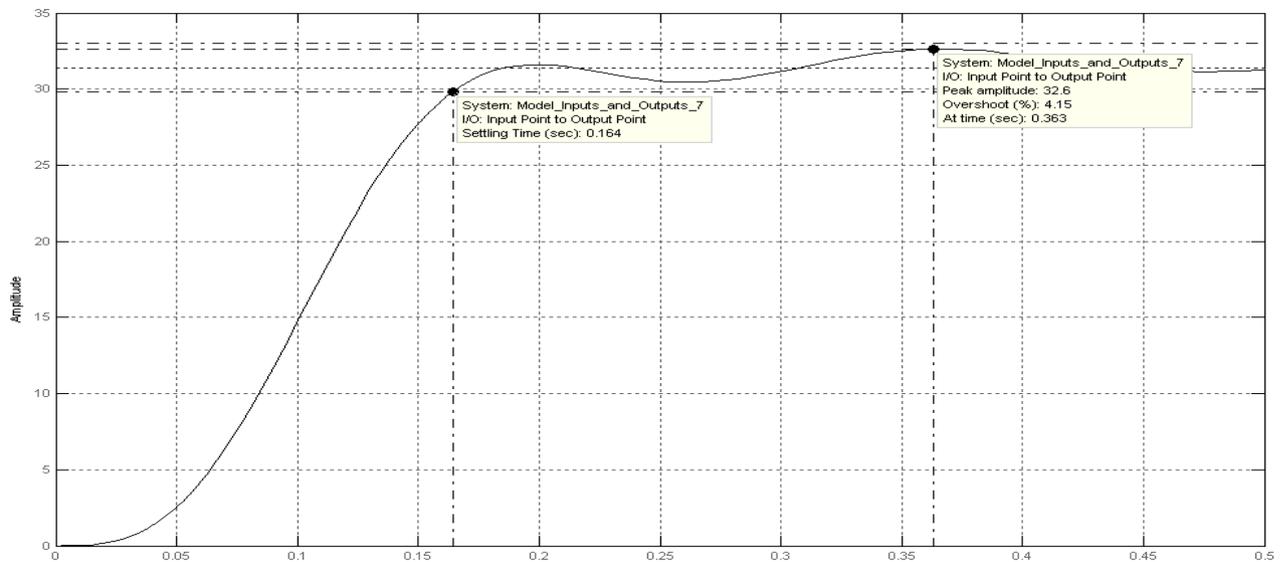


Рисунок 2.15 Перехідний процес пуску двигуна при $J_{заг}$ (ПІ регулятор).

Час перехідного процесу $t_m = 0.164$ с.

Пере регулювання складає $\delta_{ni} = 4.15\%$

Побудуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ в системі керування з максимальним моментом інерції при виконання регулятора без Д складової.

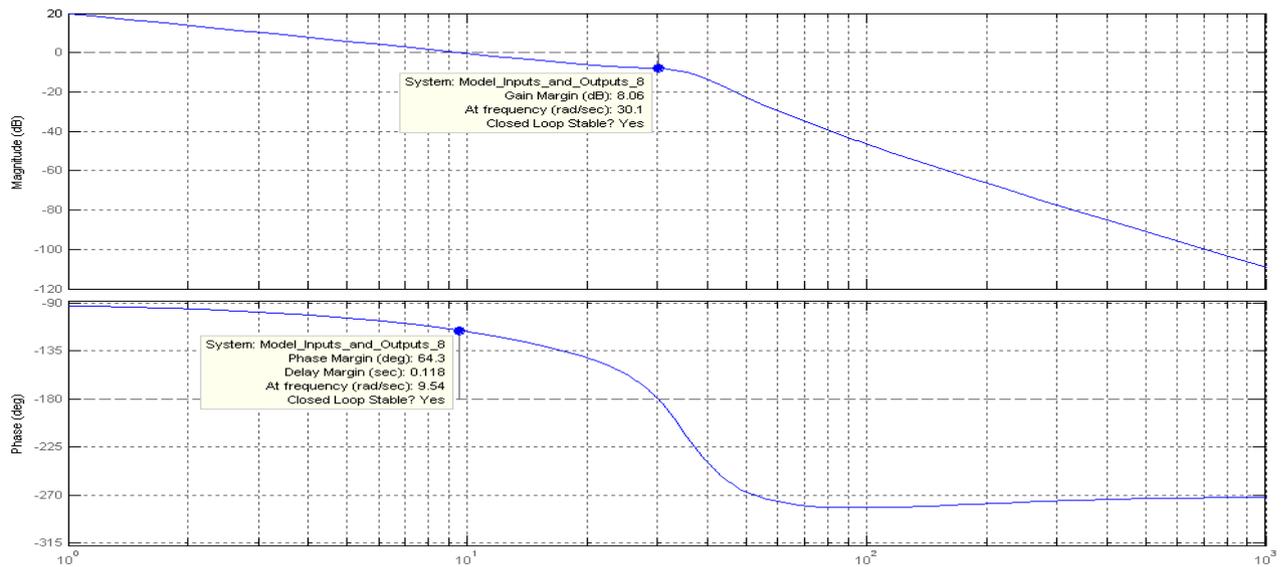


Рисунок 2.16 ЛАЧХ і ЛФЧХ в САК з максимальним моментом інерції (ПІ-регулятор).

- запас стійкості за фазою $\Delta\psi(\omega) = 64.3^\circ$;
- запас стійкості за амплітудою $\Delta L(\omega) = 8.06$ дБ.

Тепер зобразимо графік перехідного процесу без Д складової з мінімальним моментом інерції на валу.

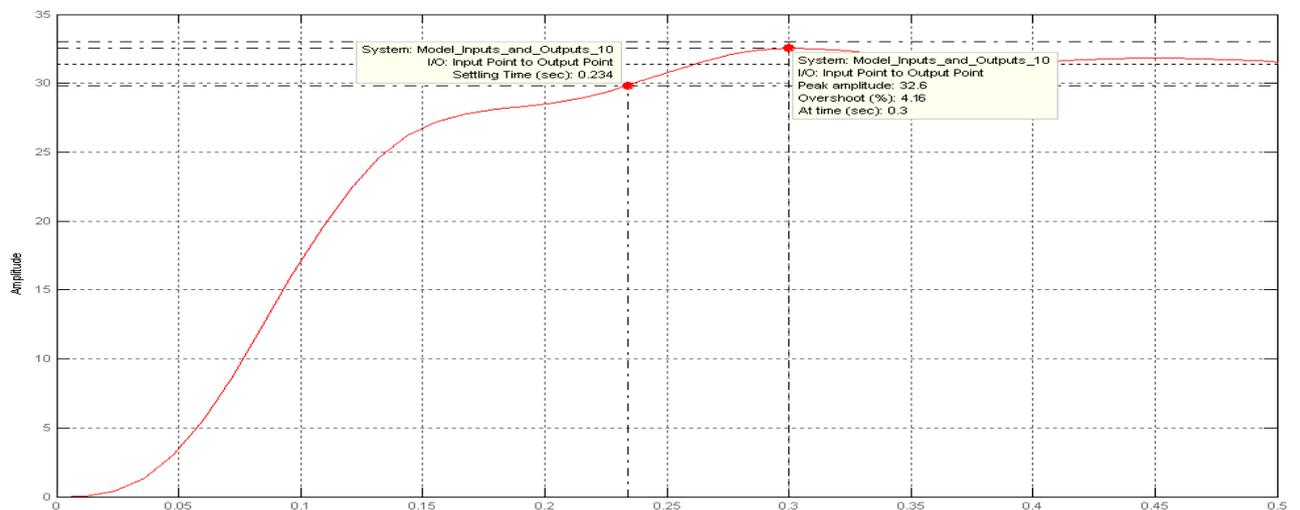


Рисунок 2.17 Графік перехідного процесу при $J_{заг}$ (ПІ регулятор).

Час перехідного процесу $t_{nn} = 0.234$ с.

Перерегулювання $\delta_{III} = 4.16\%$

ЛАЧХ і ЛФЧХ в системі керування з мінімальним моментом інерції при

виконання регулятора без Д складової.

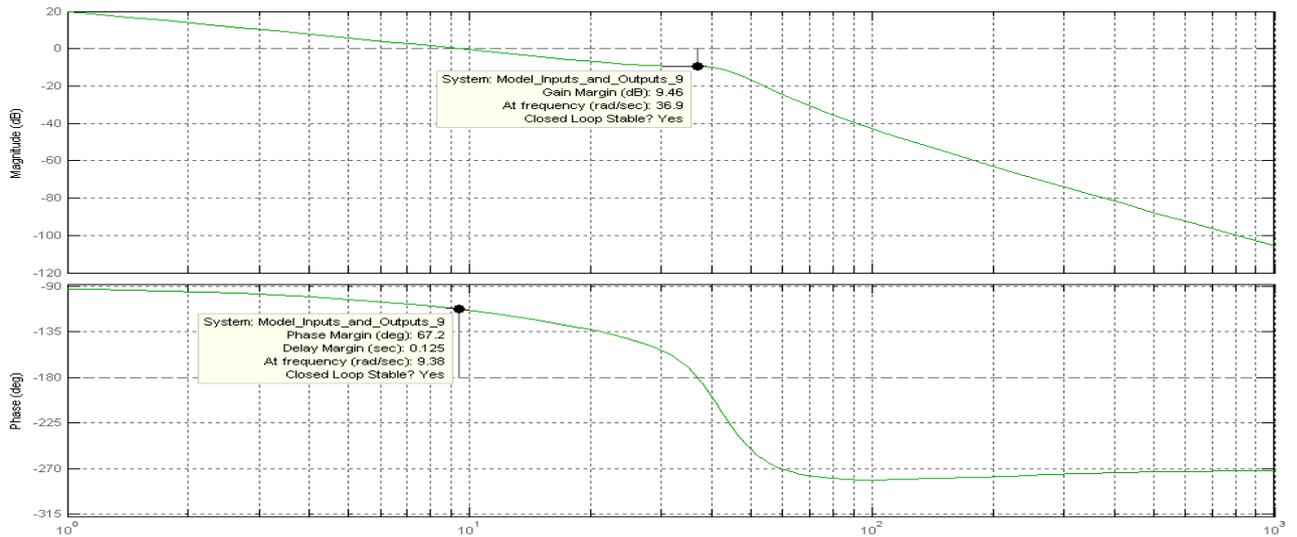


Рисунок 2.18 ЛАЧХ і ЛФЧХ в САК з мінімальним моментом інерції (ПІ-регулятор).

- запас стійкості за фазою $\Delta\psi(\omega) = 67.2^\circ$;
- запас стійкості за амплітудою $\Delta L(\omega) = 9.46$ дБ.

На основі результатів отриманих при дослідженні системи автоматичного керування на основі ПІ регулятора можемо графічно зобразити залежності амплітуди та фази від моменту інерції.

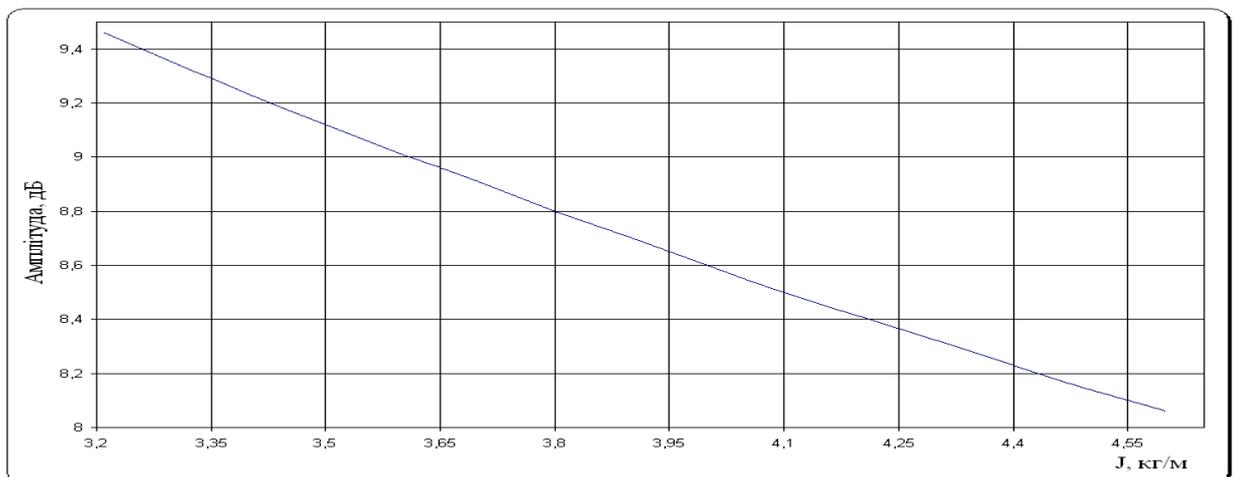


Рисунок 2.19 Залежність запасу стійкості по амплітуді в контурі регулювання швидкості

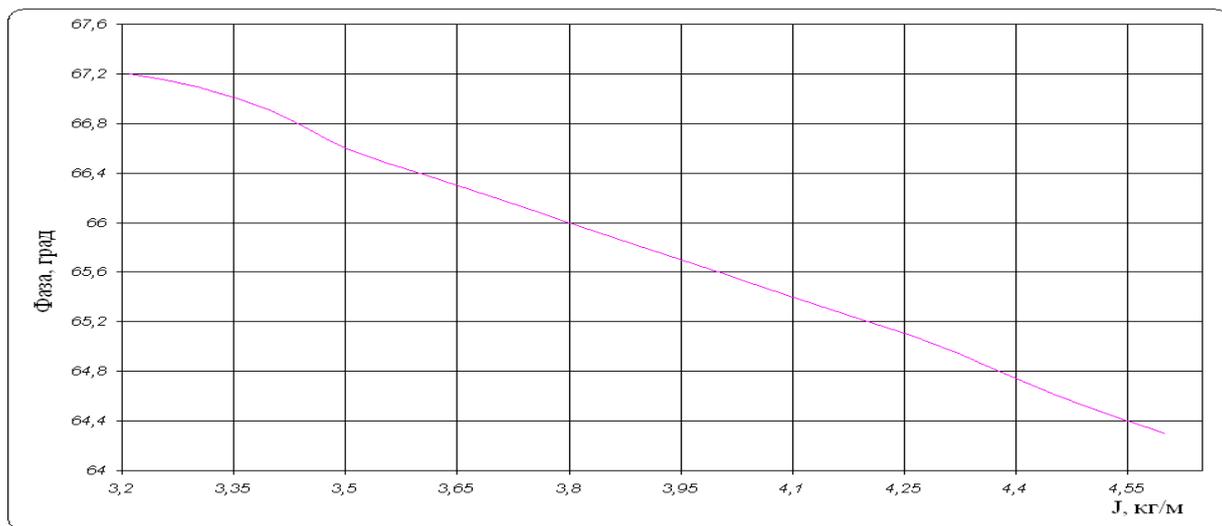


Рисунок 2.20 Залежність запасу стійкості по фазі в контурі регулювання швидкості

Ми отримали майже прямолінійні залежності і однозначно можемо сказати що при зменшенні моменту інерції, отримаємо збільшений запас стійкості по амплітудно та фазочастотних характеристиках.

Як видно із вищенаведених параметрів перехідних процесів у досліджуваних електроприводах, після зміни регулятора із ПІД на ПІ перехідні процеси значно змінилися але величини запасу стійкості по фазі та амплітуді залишилися в межах норми.

Тому на даному етапі досліджень можна з впевненістю судити про доцільність зміни регулятора. Дослідження частотних характеристик систем для двигуна, а також для кожного підбраного регулятора допомогло вирішити поставлену задачу із визначення критеріїв стійкості. Це критерії, які дозволяють визначити стійкість, а також запас стійкості системи автоматичного керування без розв'язання диференційного рівняння, що описує систему.

Висновок: при дослідженні параметрів перехідних процесів двигуна, амплітудно - , та фазочастотних характеристик ми змінювали момент інерції, як виявилось ця зміна суттєво не впливає на якість регулювання.

Запас стійкості по амплітуді збільшився при зменшенні моменту інерції. Збільшився також запас стійкості по фазі.

Запаси стійкості повністю задовольняють дані САК. Спираючись на дані отримані під час проведеного аналізу перехідних процесів і частотних характеристик є вичерпними для ствердження, що заміна регулятора, ПД на ПІ-регулятор, для даної САК є обґрунтованим і доцільним. Доцільність даної заміни пояснює не великою Д складовою регулятора, що для двигуна, який призводив в рух стрічку конвеєра склала 0.000127. Саме Д складова розрахованого регулятора і змінила зовнішній вид перехідних процесів і частотних характеристик.

2.5 Моделювання елементів електромеханічної системи конвеєру

Система керування електроприводом яку ми досліджуємо складається з двох основних частин: власне електродвигуна та конвеєра. Проаналізувавши як саме має працювати конвеєр в шахті, за допомогою комп'ютерної програми MatLab побудували спрощену модель конвеєра з електроприводом в склад якої входять датчик навантаження та датчик швидкості стрічки.

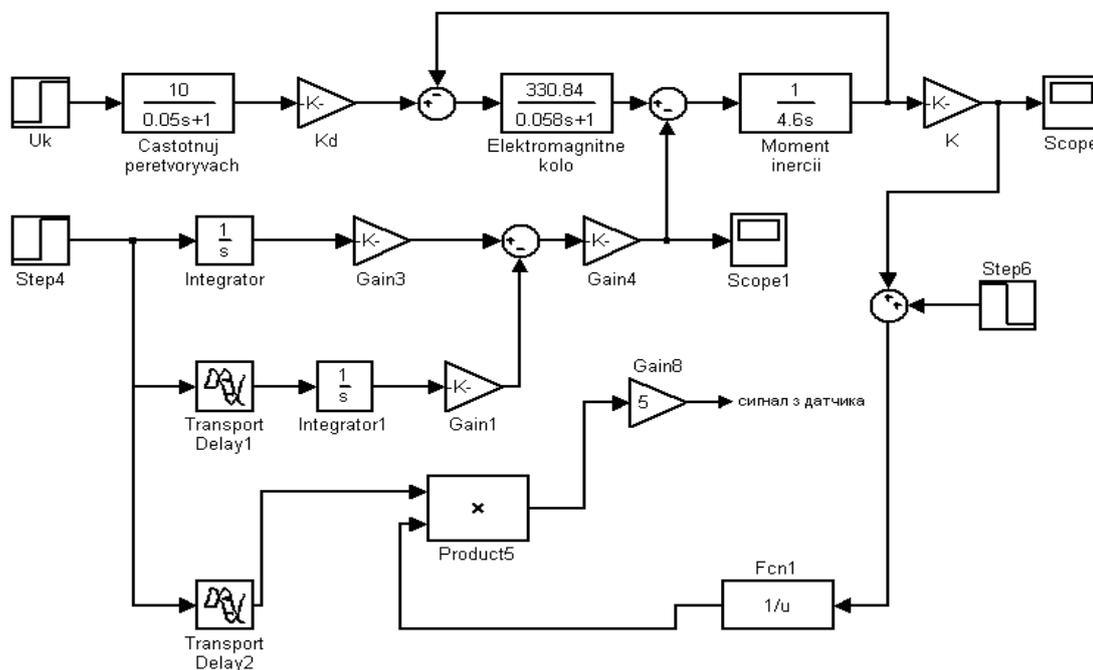
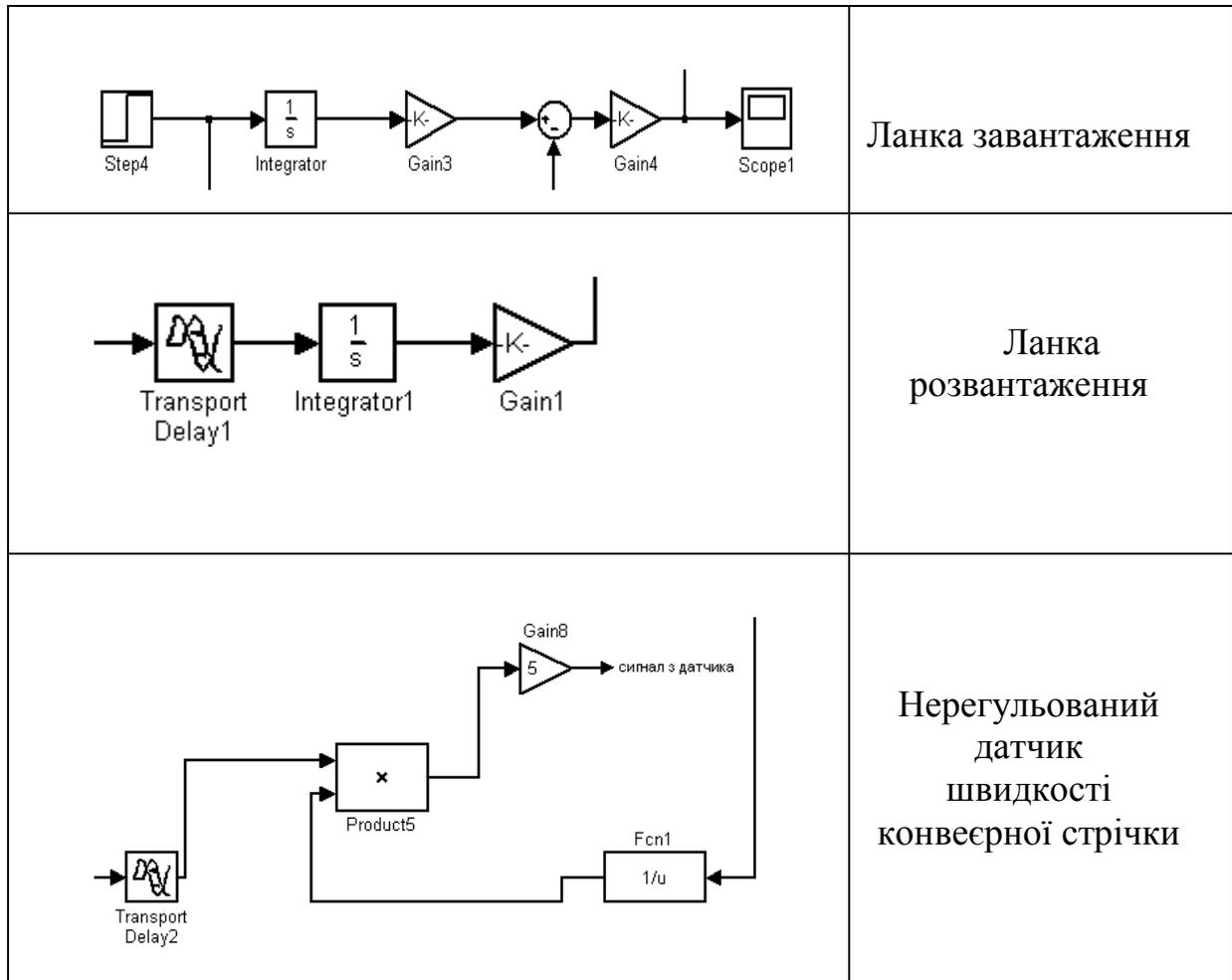


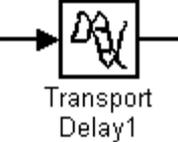
Рисунок 2.21 Структурна схема електропривода з конвеєром

Ця схема працює в одиничному випадку. Вона спрощена тому що, за допомогою неї не можливо отримати різні величини на виході датчиків а отже і

дослідити характеристики системи щоб впевнитися що система керування працює на всьому діапазоні регулювання [5].

Опишемо деякі частини за допомогою яких була побудована модель:



 - ланка запізнення. Знаючи наперед технічні характеристики конвеєрної лінії до модернізації електроприводу, такі як: продуктивність, довжина конвеєра, швидкість руху стрічки, можемо вирахувати час за який конвеєр завантажиться з моменту додачі на нього руди. Вводимо знайдену величину в цю ланку і на виході конвеєра отримуємо графік навантаження. Таким чином ми отримаємо більш відповідні значення до дійсності.



- в цю ланку вводяться коефіцієнти за допомогою яких можна переходити від відносних величин до абсолютних.

Для більш детального дослідження системи автоматичного керування побудуємо розширену систему керування, за допомогою якої зможемо змінювати вихідні параметри об'єкта через регульовані датчики навантаження і швидкості руху стрічки, і спостерігати за плавністю протікання процесів.

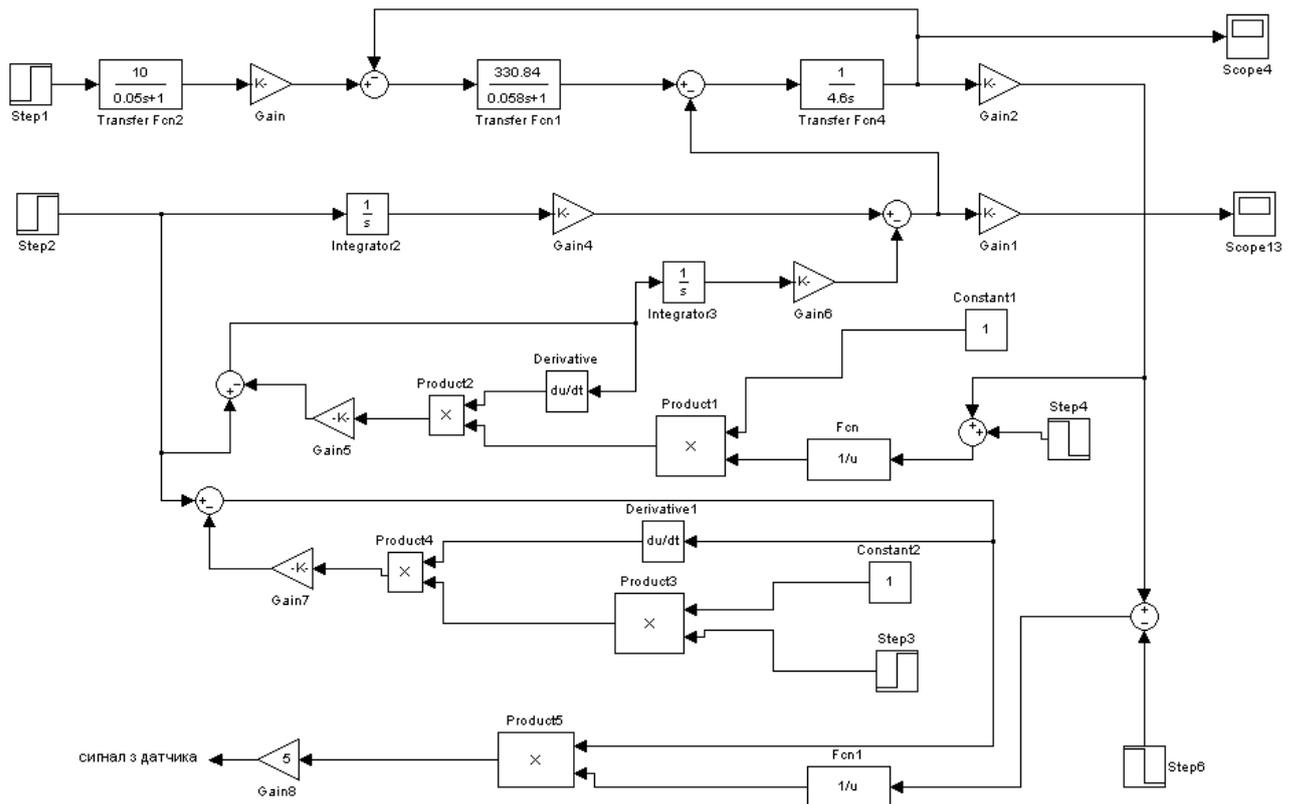
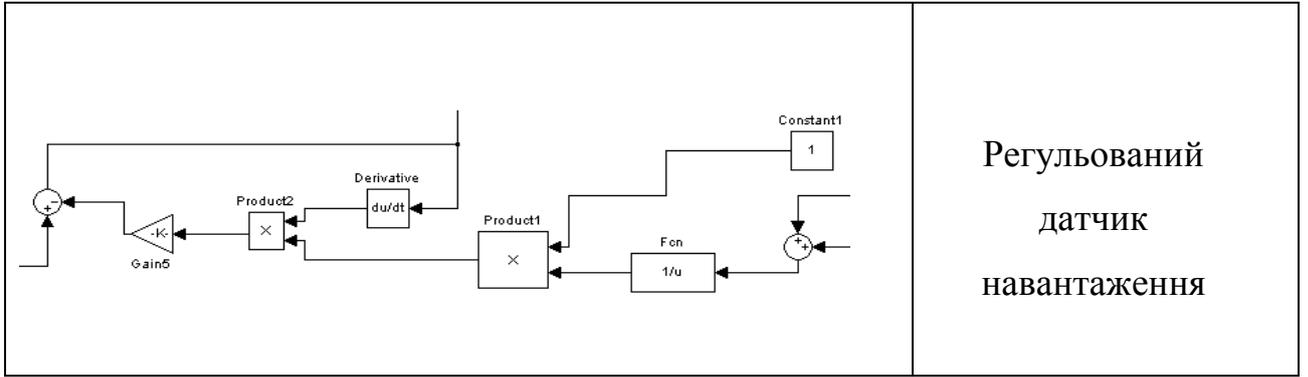
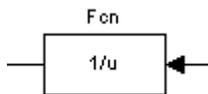


Рисунок 2.22 Структурна схема електропривода з конвеєром

В даному випадку ланки запізнення які лежать в основі датчиків замінюємо множниками, константами, суматорами, похідними ланками при реалізації яких буде можливо подавати на вхід датчика сигнал і спостерігати за результатом.



Регульований датчик навантаження



- ланка в яку входить зворотний сигнал з виходу двигуна, цей сигнал перемножується з сигналом з суматора, в результаті чого на виході з датчика утворюється сигнал напруги керування з більшим приростом, якщо конвеєр недозавантажений, на який треба збільшити частоту обертання валу двигуна.

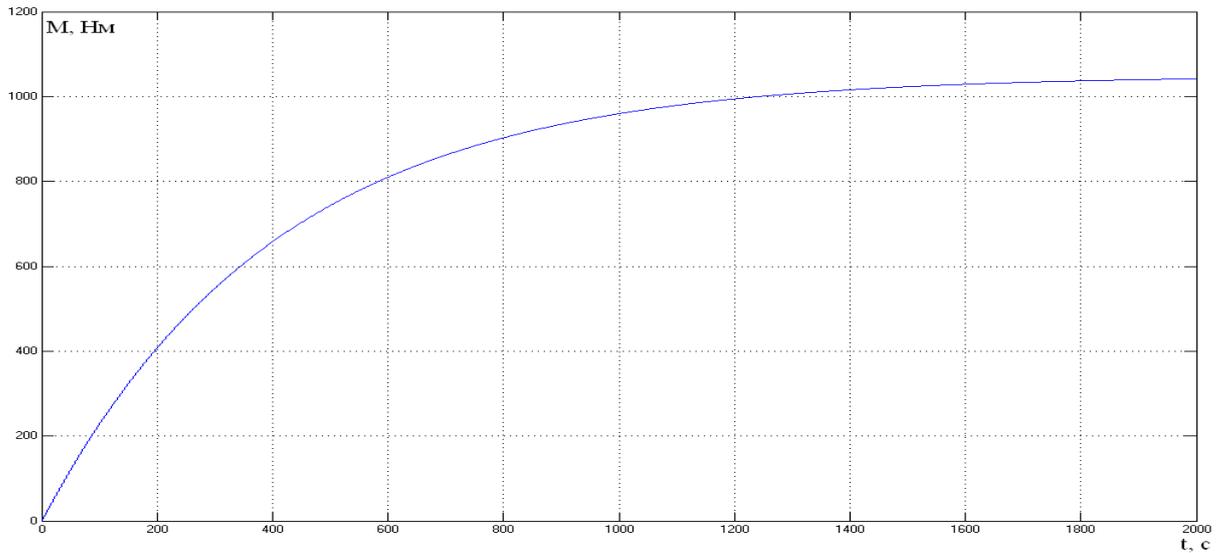


Рисунок 2.23 Процес завантаження конвеєра

Спостерігаємо як конвеєр по мірі надходження руди завантажується набираючи вагу поки не почне скидати гірську породу, на графіку це показано як постійна величина.

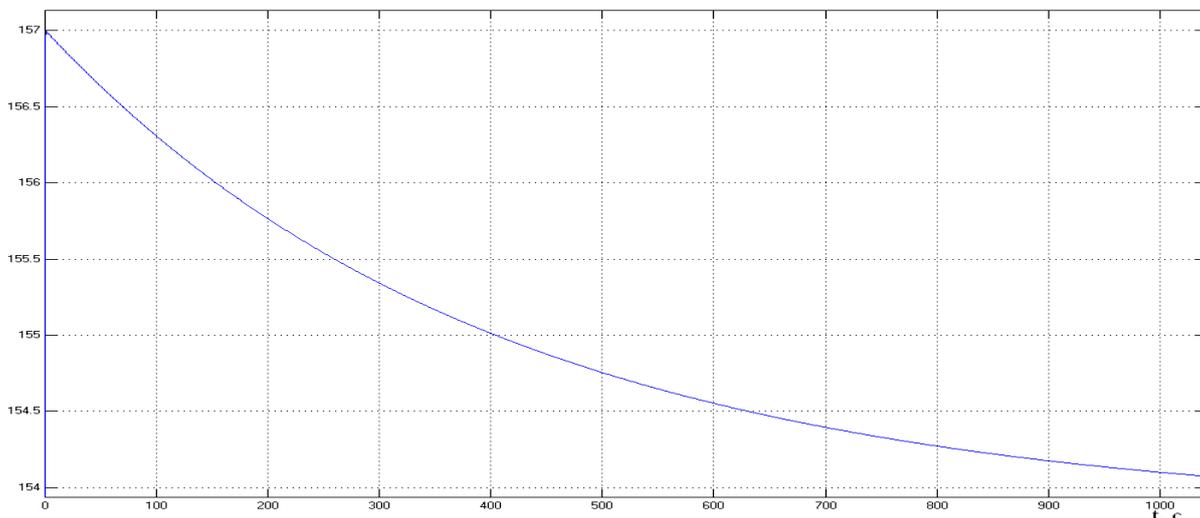


Рисунок 2.24 Перехідний процес швидкості обертання валу двигуна

З графіка видно, що в процесі завантаження конвеєрної лінії до номінального значення моменту, частота обертання валу двигуна знижується до номінальної величини що й повинно було показати при моделюванні системи.

2.6 Дослідження інтегрального регулятора завантаження лінії в каналі зворотного зв'язку

В першому випадку підключення сигналу зворотного зв'язку виконувалось напяму, безпосередньо з датчика на перетворювач частоти.

Запропонуємо та вивчимо альтернативну систему регулювання, систему з І регулятором в каналі зворотного зв'язку. Розглянемо схему на рис. 2.25.

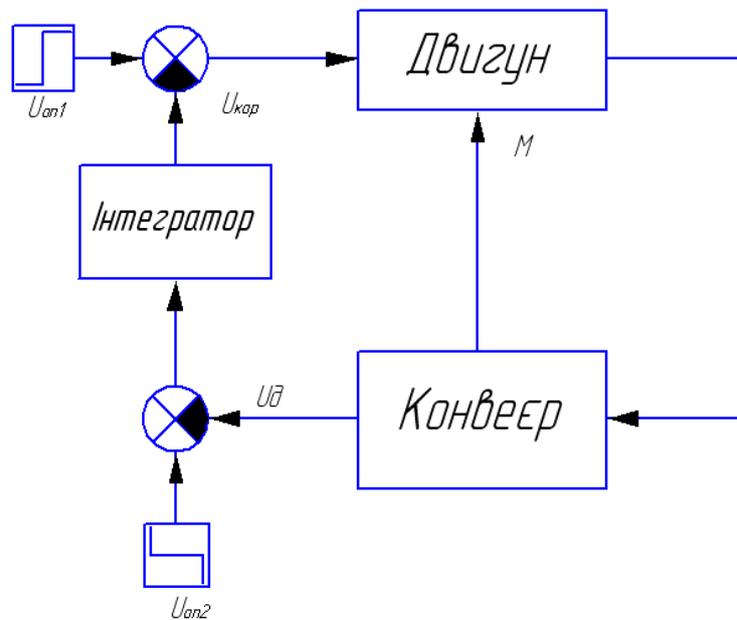


Рисунок 2.25 Функціональна схема системи регулювання навантаження

В даній схемі використовуємо інтегруючу складову яка вмикається в коло зворотного зв'язку для більш м'якшого регулювання, подання корегуючої напруги на вхід частотного перетворювача це забезпечує більшу стабільність.

Як відомо, системи автоматичного керування бувають стійкі, на межі стійкості і не стійкі. Дослідивши систему на критично-допустимі значення інтегральної складової можемо зобразити це на рис.2.26 та рис.2.27 .

Для побудови першого графіка (рис. 2.26) ми задалися що навантаження на стрічці конвеєра має номінальну величину, якщо переміщувати датчик руху стрічки від початку конвеєра до його кінця на величину шляху проходження якої вимірюється часом t , с., побачимо що поріг критичних значень зростає, що зменшує робочий діапазон системи керування.

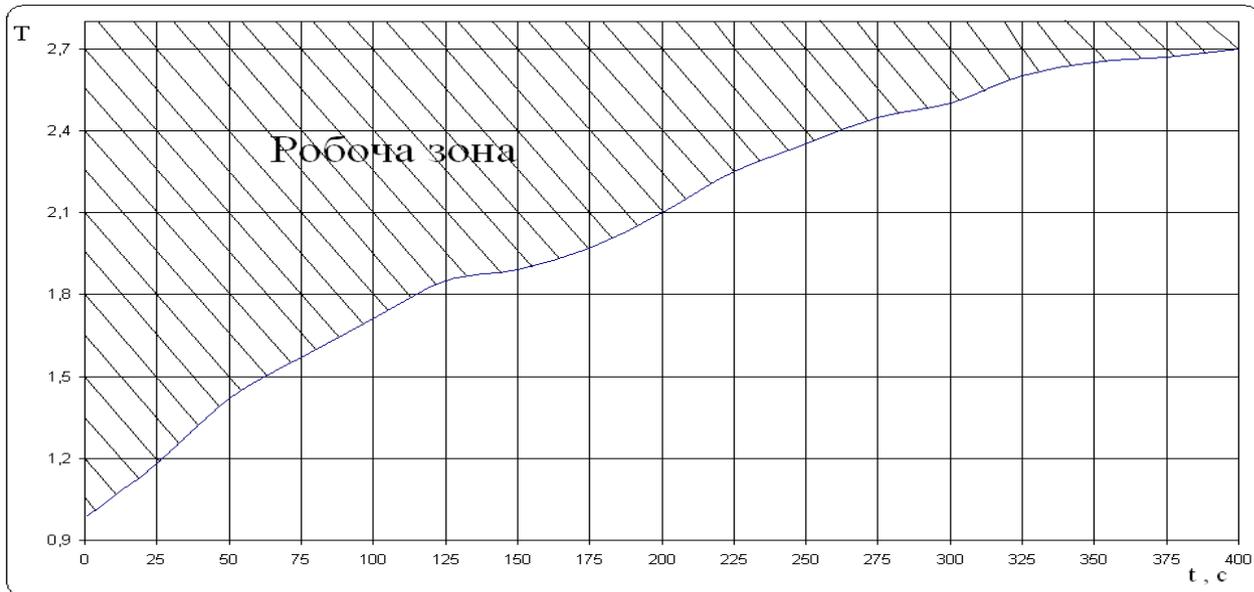


Рисунок 2.26 Залежність критично-допустимих значень інтегральної складової від інтервалу часу через який поступає сигнал при номінальному навантаженні.

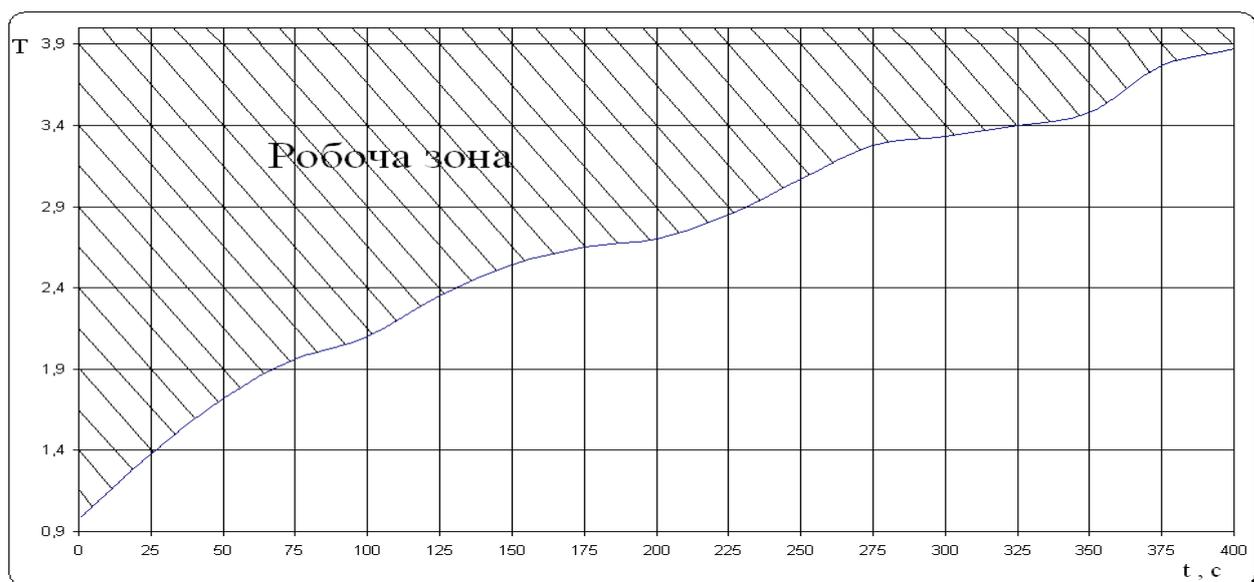


Рисунок 2.27 Залежність критично-допустимих значень інтегральної складової від інтервалу часу через який поступає сигнал при половинному навантаженні.

В другому випадку провели дослідження при наполовину зменшеному навантаженні. Визначили що при такій же періодизації знімання показників інтегральної складової критично-допустимі значення збільшилися майже на одиницю.

Перехідні процеси регулювання швидкості з використанням І регулятора

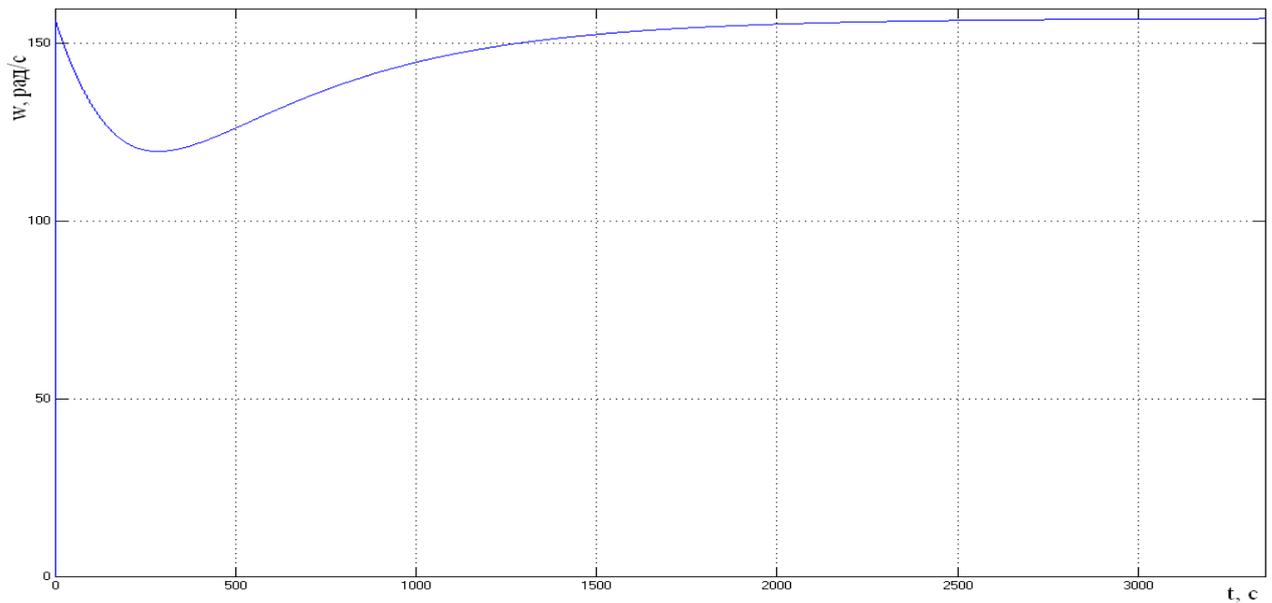


Рисунок 2.28 Перехідний процес кутової швидкості двигуна при роботі I регулятора при $M^*=1$

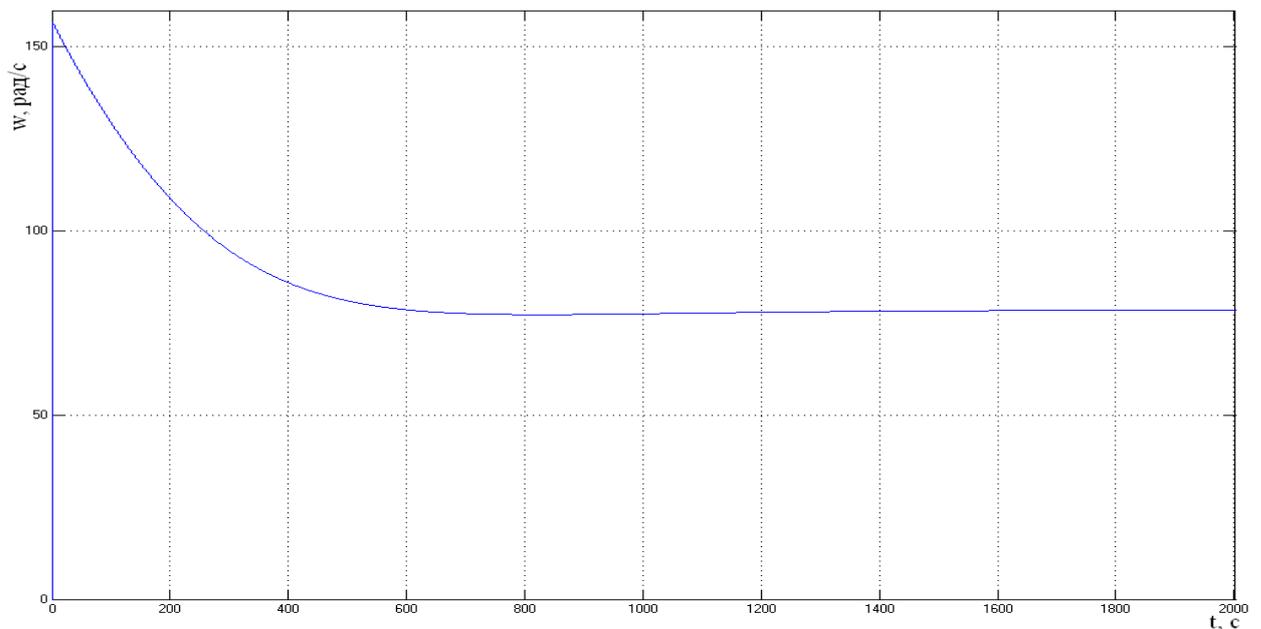


Рисунок 2.29 Перехідний процес кутової швидкості двигуна при роботі I регулятора при $M^*=0.5$

По результатам досліджень можемо зробити висновок що розроблена система автоматичного керування працює, отримані значення характеристик відповідають вимогам.

Висновок

У даному дипломному проекті проведено розроблення електропривода конвеєрної лінії 2Л120А із впровадженням частотного методу автоматичного керування асинхронним двигуном приводної станції

При виконанні дипломного проекту було вибрано необхідну систему регулювання та обґрунтовано вибір перетворювача частоти. Проаналізовані можливі системи частотного керування. Розроблена функціональна схема електроприводу. На основі поставленого завдання було вибрано асинхронний двигун АВР280L4; перетворювач частоти «ЕРАТОН-В»; побудована структурна схема автоматичної системи керування електроприводом, створена математична модель електромеханічної системи конвеєра, знайдені її параметри.

Виконано синтез регулятора та функціональних схем електропривода, а також досліджено якість перехідних і частотних характеристик при різних навантаження конвеєра.

Обґрунтовано перехід від ПІД регулятора швидкості до ПІ. Запропонована та досліджена автоматизована система стабілізації навантаження конвеєра. Розраховані штучні механічні характеристики та розглянуто питання доцільності використання ІR – компенсації при частотному керуванні асинхронним двигуном.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що автоматизована система типу перетворювач частоти - асинхронний двигун для конвеєрної лінії спроектована вірно, показники якості перехідних процесів знаходяться в межах норми і відповідають необхідним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мухопад М. Д. Транспортні машини.-Х.: Вид-во “Основа” при Харк. ун-ті, 1993 – 192с.
2. Електромеханичні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч.посібник / М.Г.Поповіч, О.Ю.Лозинський, В.Б.Клепиков та ін.; За ред. М.Г.Поповіча, О.Ю.Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
3. Шибітченко В.Г., Шефер О.В., Бороздін М.К. Датчики і регулятори в автоматизованому електроприводі: навчальний посібник з дисципліни “Елементи автоматизованого електропривода”. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – 88 с.
4. Жулай Є.Л. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: [підручник для студ. вищ. навч. закладів] / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Ларіненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк: за ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.
5. Шефер О.В. Електропривод та автоматизація загальнопромислових механізмів: конспект лекцій. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – 154 с.
6. Зеленов А.Б. Теорія електропривода: Методика проектування електроприводів: Підручник. – Луганськ: Вид-во "Ноулідж", 2010. – 670 с.
7. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник.-К.:Либідь,1997.-554 с.
8. Видмиш А. А., Ярошенко Л. В.. Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1. / Навчальний посібник. – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.
9. Теорія електропривода: Підручник/ М.Г.Попович, М.Г.Борисюк, В.А.Гаврилюк та ін.; За ред. М.Г.Поповича. - К.: Вища шк., 1993.- 494с.:іл.
10. Галай М.В. Теорія автоматичного керування /Навчальний посібник. – Полтава: видавництво “Полтава”, 1998. –с.470.

ДОДАТКИ

Параметри трансформатора ТМН-630

Таблиця Д.1

Тип	S _T , кВА	U _{ВХ} , кВ	U _{ВИХ} , кВ	I _{ХХ} , %	U _к , %
ТМН-630	630	35	6,3-0,4	1.5	6,5

Визначемо U_{d0} з рівняння характеристики регулювання випрямляча (при куті регулювання $\alpha = 0$).

$$U_{d0} = \frac{U_{dH}}{\left(\cos \alpha - B \cdot \frac{U_{k\%}}{100} \right)}; \quad (\text{Д.1})$$

$$U_{d0} = \frac{1498,7}{1 - 0,5 \cdot \frac{6,5}{100}} = 1549 \text{ В:}$$

де U_{d0} – напруга холостого ходу випрямляча.

Для трифазної мостової схеми $B = 0,5$.

Визначаємо номінальну фазову напругу вторинної обмотки трансформатора U_{2H} з виразу зовнішньої характеристики керованого випрямляча з урахуванням комутації:

$$U_{d0} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot U_{2H} = 2,34 \cdot U_{2H}; \quad (\text{Д.2})$$

$$U_{2H} = \frac{U_{d0}}{2,34}; \quad (\text{Д.3})$$

$$U_{2H} = \frac{1549}{2,34} = 662 \text{ В.}$$

Необхідна лінійна напруга $U_{2ЛН}$ становить:

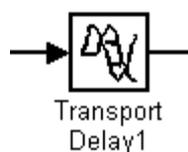
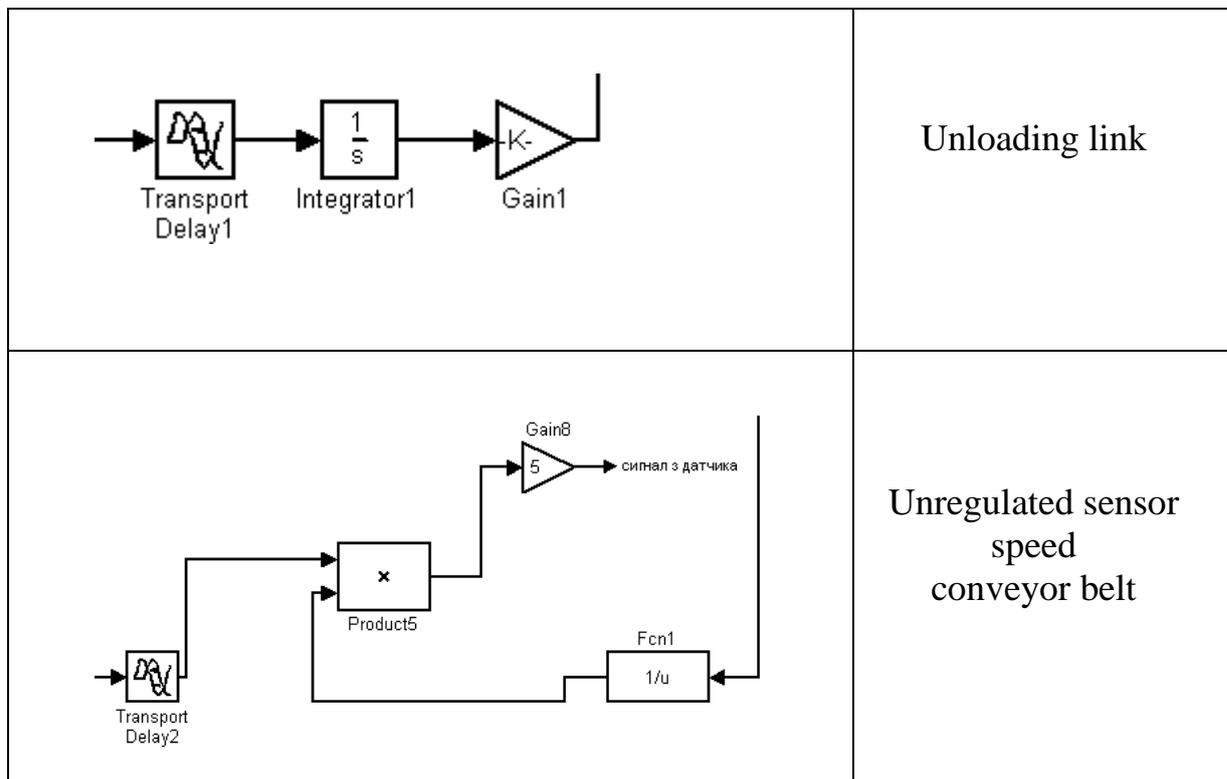
$$U_{2ЛН} = U_{2H} \cdot \sqrt{3}; \quad (\text{Д.4})$$

$$U_{2ЛН} = 662 \cdot \sqrt{3} = 1146,6 \text{ В.}$$

Вибираємо лінійну напругу вторинної обмотки потужного трансформатора з номінального ряду 230В, 380В, 660В, 825В, 1140В. $U_{2ЛН} = 1140 \text{ В.}$

№ п/п	Основні характеристики конвеєра	Значення
1.	Ширина стрічки, мм	800
2.	Довжина конвеєра, м	1200
3.	Продуктивність, т/ч	420/520
4.	Швидкість руху стрічки, м/с	2,0/2,5
5.	Напруга мережі, В	660/1140
6.	Потужність привода, кВт	2x75
7.	Редуктор привода	Циліндричний, трьохступінчатий
8.	Електродвигун привода	АВР250S4 75 кВт. 1500 об/хв.
9.	Гальмівний пристрій з гідроштовхачем	ТЭ-80МРВ
10.	Гідромуфта	ГПП-500МА
11.	Діаметр приводних барабанів, мм	630
12.	Довжина телескопічної секції, м	54
13.	Натяжний пристрій	Лебідка 400/5 с канатним барабаном
13.1	Редуктор натяжного пристрою	черв'ячний 01069-01/1
13.2.	Електродвигун натяжного пристрою	ВРП 180М8 15 кВт. 750 об/хв..
13.3	Манометр натяжного пристрою	ДМ 2005Сг1Ех
13.4	Тягове зусилля натяжного пристрою, кГс	15000
13.5	Діаметр барабана канатного, мм	400
13.6	Канатоємність барабана канатного, м	одна вісь: 54 загальна: 108
13.7	Діаметр каната сталюого, мм	16
14.	Тип става	траса трубчата
14.1	Шаг роликів верхньої вісі, м	1,5
14.2	Шаг роликів нижньої вісі, м	3,0
14.3	Параметри роликів, мм	верхня вісь: 108X280 нижня вісь: 108X420
15.	Діаметр відхиляючих барабанів, мм	500

Характеристики конвеєра 2Л120А



- delay link. Knowing in advance the technical characteristics of the conveyor line before the modernization of the electric drive, such as: productivity, length of the conveyor, speed of the belt, we can calculate the time for which the conveyor will be loaded from the moment of adding ore to it. We enter the found value in this link and at the exit of the conveyor we get a load schedule. In this way, we will get values more relevant to reality.



- coefficients are entered in this link, with the help of which it is possible to move from relative values to absolute values. For a more detailed study of the automatic control system, we will build an advanced control system, with which we will be able to change the output parameters of the object through adjustable sensors of load and speed of the tape, and observe the smoothness of the processes.

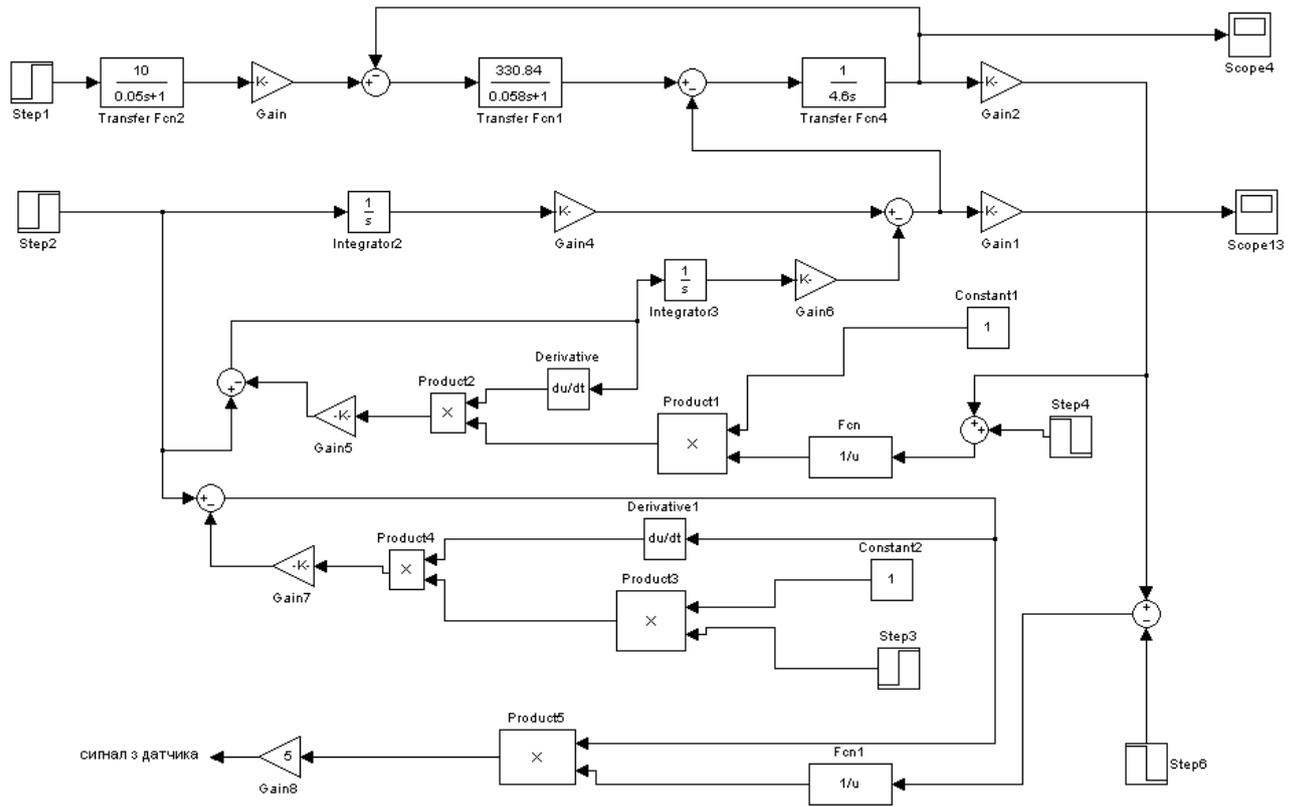
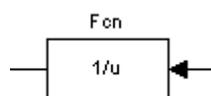
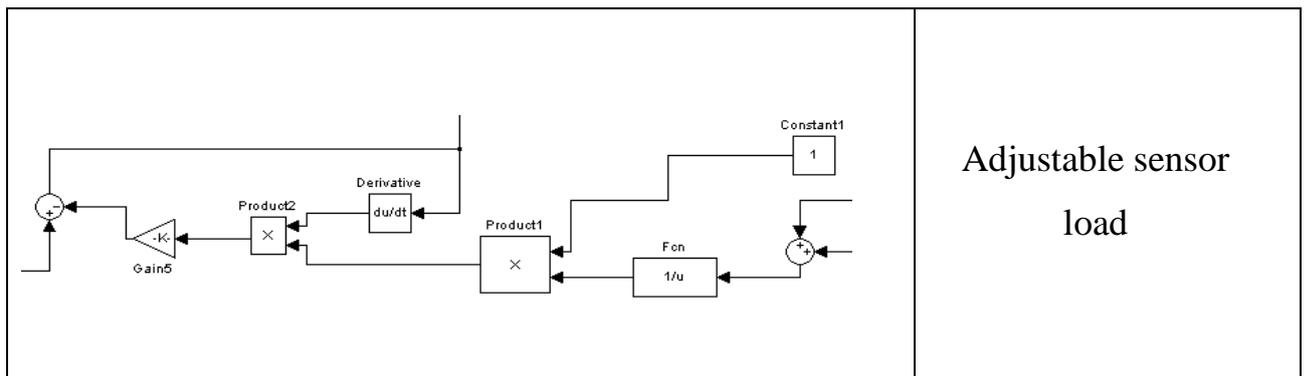


Figure 2.22 Structural diagram of an electric drive with a conveyor

In this case, the delay links that are the basis of the sensors are replaced by multipliers, constants, adders, derivative links, when implemented, it will be possible to send a signal to the sensor input and observe the result.



- a link in which the return signal from the engine output is included, this signal is multiplied with the signal from the adder, as a result of which a control

voltage signal with a larger increment is formed at the output of the sensor, if the conveyor is underloaded, by which the frequency of rotation of the engine shaft must be increased.

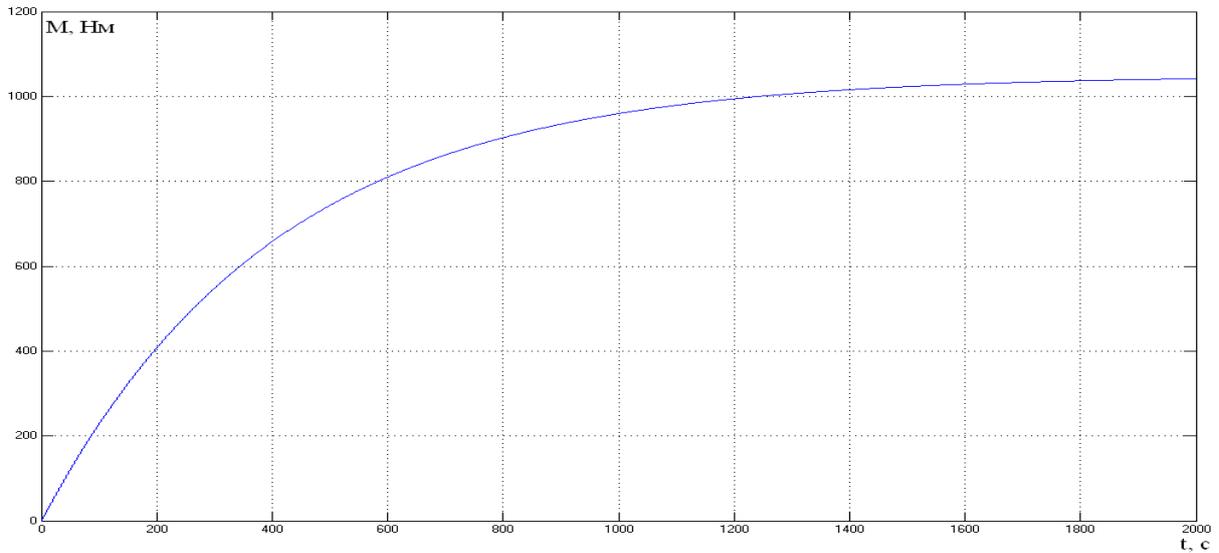


Figure 2.23 The process of loading the conveyor

We observe how the conveyor is loaded as the ore arrives, gaining weight until it begins to dump the rock, on the graph it is shown as a constant value.

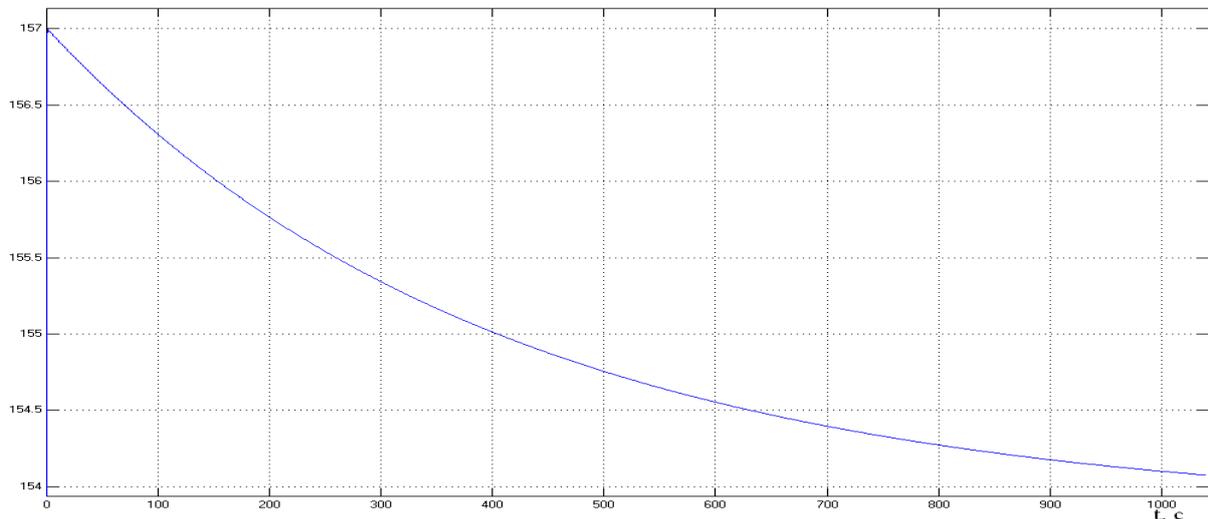


Figure 2.24 Transient process of engine shaft rotation speed

It can be seen from the graph that in the process of loading the conveyor line to the nominal value of the moment, the frequency of rotation of the motor shaft

decreases to the nominal value, which should have been shown during the system simulation.

2.6 Study of an integral line load regulator in the feedback channel

In the first case, the feedback signal was connected directly, directly from the sensor to the frequency converter.

We will propose and study an alternative regulation system, a system with the I regulator in the feedback channel. Consider the diagram in fig. 2.25.

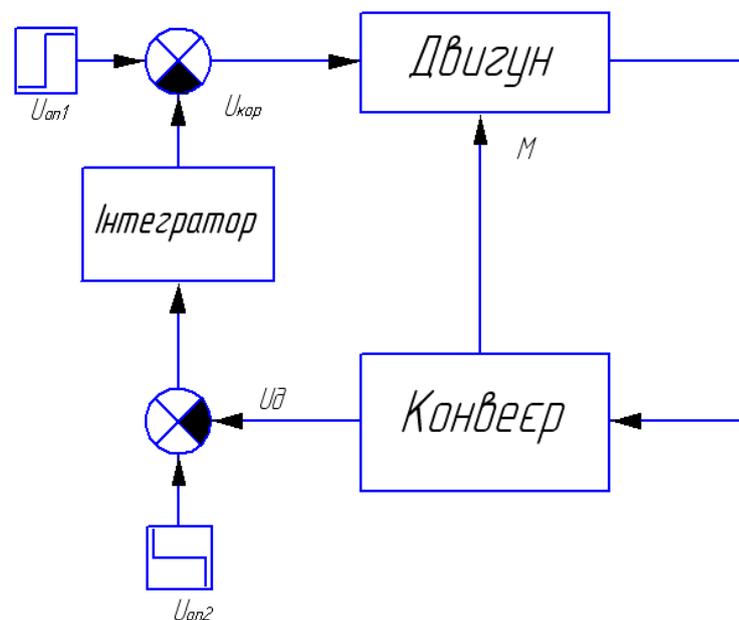


Figure 2.25 Functional diagram of the load regulation system

In this scheme, we use an integrating component that is included in the feedback circuit for a softer regulation, applying the correcting voltage to the input of the frequency converter, this ensures greater stability.

As you know, automatic control systems are stable, on the verge of stability, and unstable. Having studied the system for the critical-allowable values of the integral component, we can depict it in Fig. 2.26 and Fig. 2.27.

To construct the first graph (Fig. 2.26), we assumed that the load on the conveyor belt has a nominal value, if we move the sensor of the movement of the belt

from the beginning of the conveyor to its end by the amount of the path of its passage measured by time t , c., we will see that the threshold of critical values increases, which reduces the operating range of the control system.

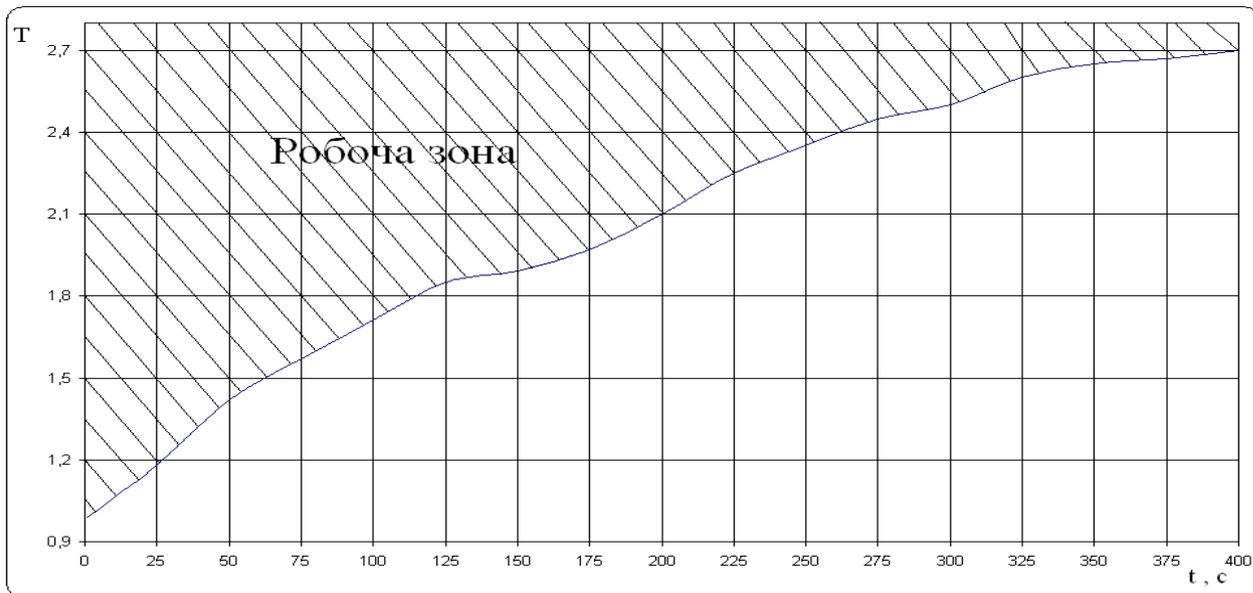


Figure 2.26 Dependence of critical-allowable values integral component from the time interval through which is the incoming signal at nominal load.

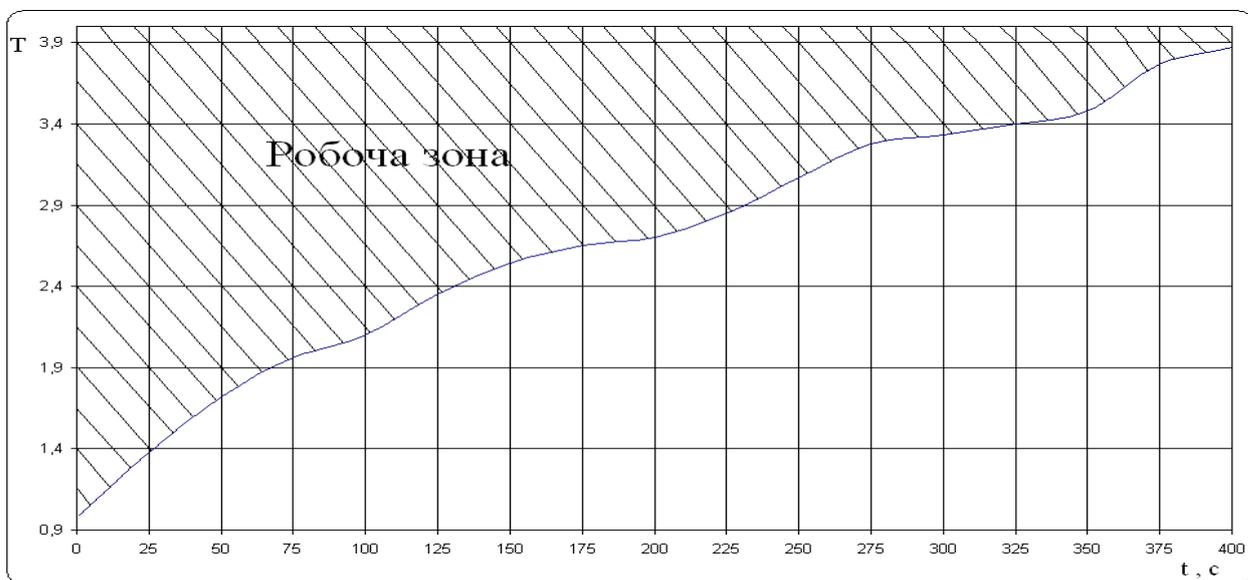


Figure 2.27 Dependence of critical-allowable values integral component from the time interval through which is the incoming signal at half load.

In the second case, research was conducted with a half-reduced load. It was determined that with the same periodization of taking indicators of the integral

component, the critical-acceptable values increased by almost one. Transient processes of speed regulation using the I regulator.

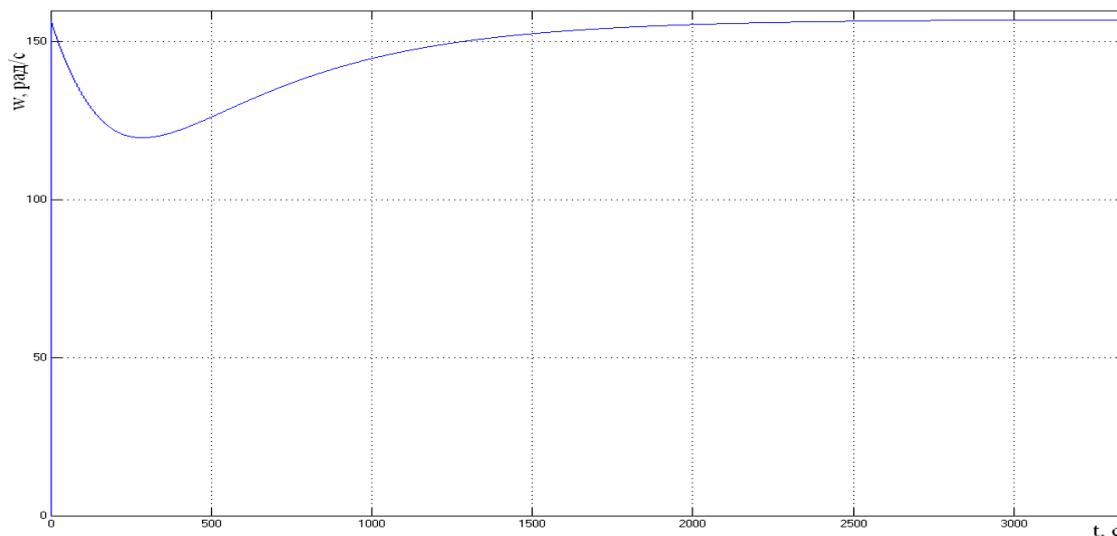


Figure 2.28 Transient process of engine angular velocity during operation of the I regulator at $M^*=1$

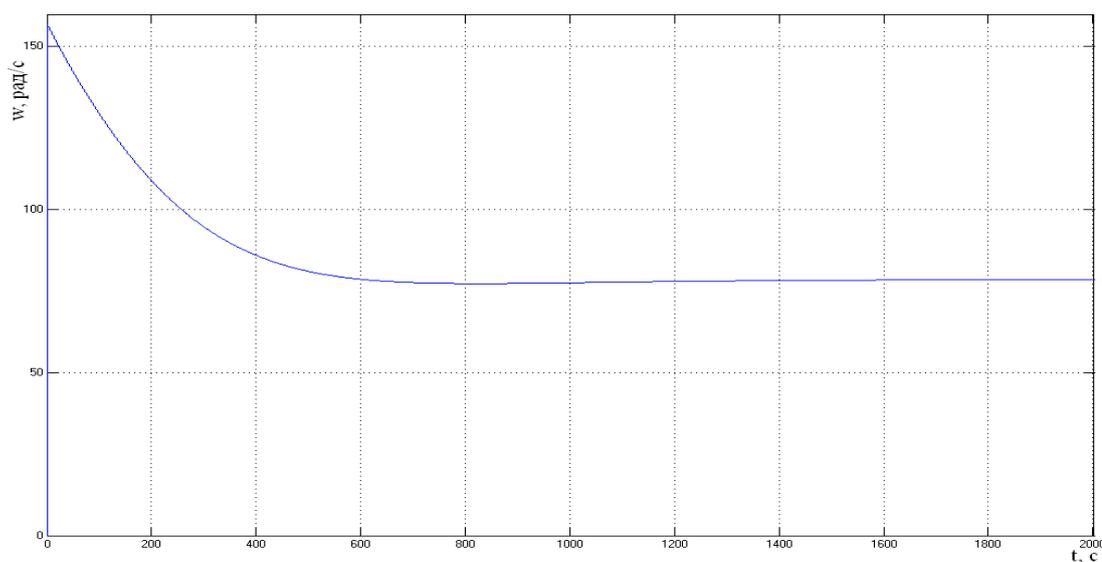


Figure 2.29 Transient process of engine angular velocity during operation of the I regulator at $M^*=0.5$

According to the research results, we can conclude that the developed automatic control system works, the obtained values of the characteristics meet the requirements.