

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра електропривода  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Фурніки Владислава Валерійовича  
(ПІБ)

академічної групи 141-16ск-3  
(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(офіційна назва)

на тему Регульований електропривод роликowego конвєсєра  
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Бородай В.А.			
розділів:				
Охорона праці	Лутє І.О.			
Економічна частина	Дементьєва Н.В.			

<b>Рецензент</b>	Ковальов О.Р.			
------------------	---------------	--	--	--

<b>Нормоконтролер</b>	Казачковський М.М.			
-----------------------	-----------------------	--	--	--

Дніпро  
2019

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

Електропривода

(повна назва)

Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«24» грудня 2018 року

**ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу**

**ступеня** бакалавр

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Фурніці В.В. академічної групи 141-16ск-3  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(офіційна назва)

на тему Регульований електропривод роликowego конвєсєра

затверджену наказом ректора НТУ«Дніпровська політехніка» від 17.04.2019 № 626-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
1. Технологічна частина 2. Автоматизований електропривод	Аналіз технологічної установки і формулювання вимог до електропривода. Визначення вхідних даних механізму та розрахунок потужності і вибір комплектного електропривода для асинхронного двигуна.	14.01.2019- 20.01.2019, 13.05.2019 – 19.05.2019
3. Дослідження динаміки електропривода	Обґрунтування вибору системи керування. Вибір і розрахунок структури і регуляторів моделі. Дослідження та аналіз роботи системи електропривода.	20.05.2019- 02.06.2019
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на роботу персоналу. Формулювання рекомендацій, що до усунення небезпеки.	03.06.2019- 09.06.2019
5. Техніко-економічне обґрунтування проекту	Здійснення розрахунку смітної вартості складових системи автоматизованого електроприводу.	03.06.2019- 09.06.2019

**Завдання видано**

(підпис керівника)

Бородай В.А.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 24.12.2018

Дата подання до екзаменаційної комісії 20.06.2019

**Прийнято до виконання**

(підпис студента)

Фурніка В.В

(прізвище, ініціали)

## ЗМІСТ

	стор.
РЕФЕРАТ .....	5
ВСТУП .....	7
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	8
1.1 Загальні відомості .....	9
1.2 Конструкція, класифікація та принцип роботи .....	11
1.3 Електричне обладнання роликового конвеєра .....	14
1.4 Вимоги до електроприводу .....	16
2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД.....	18
2.1 Розрахунок роликового конвеєра.....	19
2.2 Вибір двигуна, редуктора та гальмівного пристрою.....	22
2.3 Перевірка двигуна на перевантажувальну здатність.....	25
2.4 Вибір перетворювального пристрою .....	27
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	31
3.1 Загальні відомості .....	32
3.2 Розробка математичної моделі електропривода.....	36
3.3 Розрахунок параметрів системи скалярного керування .....	42
3.4 Моделювання.....	47
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	51
4.1 Вимоги безпеки під час експлуатації конвеєрів... ..	52
4.2 Розрахунок заземлення електроустановки .....	55

5. ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ.....	59
5.1 Вступ.....	60
5.2 Розрахунок капітальних витрат.....	60
5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	62
5.4 Визначення річної економії від впровадження об'єкту проектування.....	67
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ.....	69
ДОДАТОК А.....	71
ДОДАТОК Б.....	76

## Реферат

Пояснювальна записка сторінок 80, рисунків 18, таблиць 7, джерел використаної літератури 14, листів креслень 4.

Об'єкт роботи: регульований електропривод роликового конвеєра.

Ціль роботи: модернізація роликового конвеєра шляхом правильного вибору потужності двигуна, використання комплектного електропривода та системи контролю діагностики аварійних ситуацій.

Вибрані елементи силового ланцюга: асинхронний електродвигун AIP132S8, перетворювач частоти ALTIVAR 71. Розраховані параметри скалярного керування системи регулювання швидкості.

Досліджена динаміка проектованого електропривода в режимах пуску, усталеного руху та гальмування з використанням спеціалізованого пакета MATLAB додатка Simulink.

Запропоновані інженерні заходи по зниженню впливу шкідливих і небезпечних факторів.

Визначено очікуваний економічний ефект за рахунок модернізації системи керування з можливістю зниження затрат на енергоресурси.

**РОЛИКОВИЙ КОНВЕЄР, РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ЗМІННОГО СТРУМУ, СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ БЕЗ ЗВОРОТНІХ ЗВ'ЯЗКІВ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ЕНЕРГОСБЕРЕЖЕННЯ, БЕЗПЕКА.**

## **Abstract**

Explanatory note of pages 80, Figures 18, tables 7, sources of used literature 14, sheets of drawings 4.

Object of work: adjustable electric drive of a roller conveyor.

The purpose of the work: the modernization of the roller conveyor through the correct choice of engine power, the use of a complete electric drive and a system for monitoring the diagnosis of emergency situations.

Selected elements of the power circuit: asynchronous electric motor AIP132S8, frequency converter ALTIVAR 71. The parameters of the scalar control of the speed control system are calculated.

The dynamics of the projected electric drive in the modes of start, steady motion and braking using the special package of MATLAB of the Simulink application is investigated.

The proposed engineering measures to reduce the impact of harmful and dangerous factors.

The expected economic effect is determined by modernizing the control system with the possibility of reducing energy costs.

**ROLLER CONVEYOR, ADJUSTABLE ACCESSORIES, ACCESSORIES, FREQUENCY TRANSFER, ENERGY SAVINGS, SAFETY.**

## Вступ

Метою дипломного проектування є:

- рішення інженерних задач, використовуючи базові теоретичні методики і професійні навички;
- отримання досвіду, на прикладі проектування регульованого електроприводу роликового конвеєра;
- розвиток творчої ініціативи та вміння орієнтуватися в технічній літературі.

Важливим аспектом підвищення технічного рівня промислового об'єкта в наші дні стало введення автоматизованих систем. Автоматизація дозволяє зменшити витрати на виробництво продукції, вести безперервний моніторинг і попередньо усувати неполадки. Економія електроенергії при експлуатації транспортувального обладнання з автоматизованим електроприводом досягає 20-30%, що є досить вагомим показником. А з розвитком електроніки з'явилася можливість здійснювати контроль і регулювання асинхронного двигуна більш досконалими технічними засобами (частотний перетворювач). Технічна простота асинхронного двигуна, його більший ресурс роботи (внаслідок відсутності іскріння всередині, як в двигуні постійного струму) роблять його відмінним приводним пристроєм. Варто зазначити, що витрати на оснащення приводу роликів конвеєрів частотними перетворювачами швидко окупаються за рахунок економії електроенергії, підвищення ресурсу обладнання, зменшення витрат на технічне обслуговування конвеєрів.

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА



## 1.1 Загальні відомості

Протягом багатьох років ціни на електроенергію неухильно ростуть, викликаючи у багатьох промислових, комерційних і торговельних підприємств бажання знизити споживання енергії. Якщо цього вдасться досягти, споживач зможе підтримувати виробничі витрати на постійному рівні або навіть знизити їх, незважаючи на підвищення цін на електроенергію. Інженери механіки і інженери-технологи можуть знижувати витрати шляхом зниження енергоспоживання своїх підприємств, досягаючи, таким чином, конкурентної переваги.

**Ефективність** Найпростіший спосіб зберегти електроенергію - використовувати більш ефективні компоненти системи.

**Управління параметрами процесу.** Найбільш ефективний шлях оптимізації процесів - управління тиском, потоком, швидкістю і т.п. Якщо раніше застосовувався тільки просте двоступенева управління швидкістю, енергетична ефективність повинна порівнюватися з ефективністю, яка забезпечується контролем швидкості. У багатьох випадках управління параметрами процесу є економічно доцільним.

**Мотори з редуктором** В останні роки використання енергозберігаючих моторів з редуктором є стандартом. Залежно від виробника, користувач може вибрати між продуктами різних класів ефективності. Однак клас ефективності двигуна ґрунтується тільки на робочих характеристиках самого двигуна, а не на характеристиках мотор-редуктора. Вибираючи редуктор, можна зіткнутися з безліччю варіантів. Гвинтові і конічні зубчасті передачі мають, як правило, істотно більшим ККД, ніж черв'ячні, проте інженери, які вибирають конічні передачі як альтернативу черв'ячним передачам, спочатку стикаються з більш високими витратами. Однак завдяки підвищеній ефективності і зносостійкості конічних зубчастих передач в порівнянні з черв'ячними, дані витрати швидко окупаються. Мотори з редуктором ідеально підходять для роботи з частотними

перетворювачами. Крім оптимізації роботи електромотора, перетворювач надає операторам можливість відмовитися від механічних перемикачів швидкостей.

**Застосування управління швидкістю на машинах, що працюють під навантаженням, часто безпосередньо відбивається на рахунках за електроенергію. Серед основних переваг використання керування швидкістю можна перерахувати наступні:**

**Економія електроенергії.** Потенціал економії електроенергії конкретної системи в основному залежить від робочої характеристики навантаження. У разі, якщо момент постійний, максимальна економія пропорційна зниженню моменту і швидкості обертання головної осі; в разі квадратичної робочої характеристики економія зростає як третій ступінь зниження швидкості.

**Автоматична оптимізація витрат енергії.** У додатках, в яких немає швидких змін навантаження, можливе використання режиму автоматичної оптимізації витрати енергії. Перетворювач знижує намагнічування двигуна, зберігаючи таким чином енергію.

**Спрощення запуску.** У багатьох задачах управління швидкістю може знижувати число запусків пристрою. Кожен запуск електричного двигуна в неконтрольованих умовах вимагає додаткової енергії на розгін мотора і виведення його в нормальний режим роботи. На запуск, як правило, йде 5-10% від загальної енергії (при роботі з насосами), проте відомі приклади зростання витрат аж до 40%. Більш того, знижуються перепади напруги і механічні навантаження, викликані переривчастим запуском пристроїв. Управління швидкістю з використанням перетворювачів частоти забезпечує й інші переваги, наприклад, зменшує механічне навантаження на систему і її складові частини. Так само не варто забувати, що перетворювачі частоти дозволяють легко

інтегрувати і підстроїти управління окремим двигуном в загальний технологічний процес.

## 1.2 Конструкція, класифікація та принцип роботи

Роликові конвеєри служать для переміщення штучних вантажів; злитків, плит, опок, профільного прокату, колод, дощок, контейнерів, ящиків і т. п.

Конвеєри можуть бути з циліндричними і дисковими роликами, а також кулькові столи. Відстань між роликами приймається рівній не більше  $1/3$  довжини вантажу.



а)



б)



в)

Рис.1.1 – Циліндричний а) дисковий б) роликові конвеєри і в) кульковий стіл.

Роликові конвеєри можуть бути приводні і не приводні (гравітаційні).

Стационарні не приводні роликові конвеєри (рольганги) загального призначення мають наступні основні параметри і розміри: довжину ролика від 160 до 1200 мм; діаметр ролика від 40 до 155 мм.

Кроки роликів вибираються в межах від 50 до 630 мм. Радіуси поворотних (криволінійних) секцій від 400 до 4000 мм.

Не приводні дискові переносні конвеєри мають ширину ходової частини конвеєра: 160; 250; 400; 650 мм; діаметри дисків 40 і 60; крок установки: 40; 80; 160. В приводних конвеєрах ролики приводяться в обертання приводом; В не приводних силою тертя між роликами і лежачим на них вантажем, якому повідомляється поступальний рух. В не приводних роликівих конвеєрах вантажі переміщуються під дією безпосередньо прикладеною до них сили і, накочуючись на ролики силою тертя між роликами і вантажем, приводять їх в обертання. В цьому випадку в конвеєрах з кутом нахилу вниз рушійною силою є складова ваги вантажу.

Поряд зі звичайними роликівими конвеєрами на заводах ряду галузей промисловості набули широкого поширення ролико-ланцюгові конвеєри, у яких роликова доріжка має в передній частині розріз, а переміщення тарно-штучних вантажів здійснюється рухом під роликами тяговим ланцюгом із захватами. В цьому випадку можна легко здійснити автоматичне адресування вантажів, на поперечні або розташовані під кутом конвеєри, а також безпосередньо до робочих місць.



Рис.1.2 – Ролико-ланцюговий конвеєр

Цікавим є застосовуваний у промисловості ролико-дисковий конвеєр, уздовж осі якого змонтована вузька нескінченна стрічка, яка займає 20-30% його ширини. По обидва боки стрічки врівень з її несучою поверхнею встановлені дискові ролики.

Вантаж, що спирається одночасно на стрічку і на ролики. Вантаж зчіплюється зі стрічкою силою тертя і переміщується нею по роликам або

гальмується при русі під ухил. Рама, на якій змонтована стрічка, є підйомно-опускною відносно рами роликового конвеєра, внаслідок чого можна підвищувати або знижувати тиск вантажу на стрічку і змінювати силу його зчеплення зі стрічкою. Тиск регулюється автоматично залежно від того, як розвивається стрічкою тягове зусилля або створюється пружинами.

Конвеєр складається з декількох секцій, сполучених між собою приводним ланцюгом. Стрічка виконана плоскою зверху і з поздовжнім клиноподібним виступом на нижній поверхні. Виступ зчіплюється з бічними стінками клиноподібної кільцевої виточки в середній частині циліндричної поверхні барабана. Замість дискових роликів по обидва боки стрічки можуть бути встановлені опорні напрямні з антифрикційного матеріалу. Рамою можна управляти за допомогою електромагнітів.



Рис.1.2 – Приводний роликовий конвеєр

В представленому дипломному проекті був вибраний приводний ролико-ланцюговий конвеєр з ланцюговою передачею від редуктора до роликів. Дана конструкція конвеєра є надійною та зручною в плані переміщення вантажу, а також економічно ефективною в плані обслуговування.

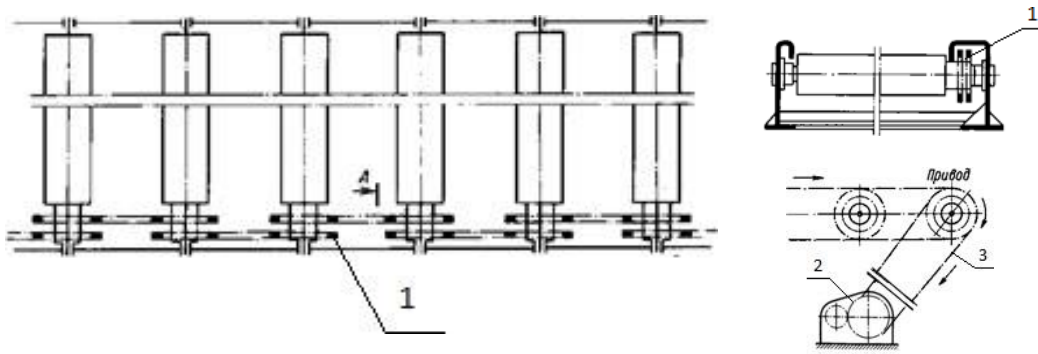


Рис.1.3 – Кінематична схема роликового конвеєра, де 1) – тяговий між роликовий ланцюг, 2) – редуктор, 3) – тягова передача від редуктора до роликів.

### 1.3 Електричне обладнання роликових конвеєрів

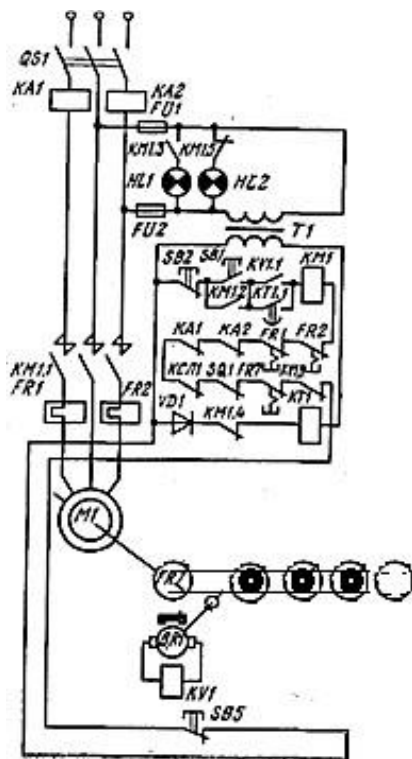


Рис.1.4 – Схема електрична принципова роликового конвеєра

- KA1, KA2 – реле струму;
- FU1, FU2 – запобіжники;
- HL1 – індикація роботи механізму;
- HL2 – індикація наявності напруги живлення;
- T1 – силовий трансформатор власних потреб;
- SB1 – натискна кнопка пуску;
- SB2 – натискна кнопка «стоп»;
- KM1 – магнітний пускач конвеєра;
- KT1 – реле витримки часу;
- FR1, FR2 – реле теплового захисту;
- KV1 – реле контролю руху роликів;
- KCL1 – розрив привідного ланцюга між валками;
- SQ1 – блокування від попереднього обладнання;
- FR7 – контроль перегріву підшипників роликів;
- SB5 – екстрена аварійна зупинка.

**Принцип роботи.** Початок роботи здійснюється вмиканням автомата SQ1. Поява напруги одразу контролюється за світінням лампи HL2, а у схемі керування спрацьовує реле часу KT1 яке вмикає контакти KT1.1, що готує схему до запуску.

Шляхом натиснення на кнопку SB1 вмикається магнітний пускач KM1, який подає живлення на двигун і замикає свої блок контакти KM1.1.... KM1.5. запалюється лампа індикації HL1, а HL2 згасає. У цьому випадку знеструмлюється KT1, яке розімкне контакт KT1.1 після завершення часу витримки. Витримка часу необхідна для спрацювання реле руху KV1, що дає змогу відслідкувати дійсний рух роликів.

У складі силової схеми та схеми керування присутня мінімальна кількість захисних систем від найбільш поширених аварійних режимів. Такі як – КЗ двигуна, КЗ системи керування, перевантаження та перегрів машини, захист забезпечують реле струму KA1, KA2, теплові реле FR1, FR2 та запобіжники FU1, FU2. Також в схемі присутні реле контролю руху роликів KV1 та контроль перегріву підшипників роликів FR7, які будуть розмикати свої контакти, тим самим розмикаючи контакти магнітного пускача KM1.1.... KM1.5 знеструмлюючи двигун в разі несправностей.

Релейно-контактна схема є не актуальною в сучасних реаліях. Вона не має плавного пуску та регулювання швидкості електродвигуна, із-за чого при роботі за такою схемою ми маємо великі втрати електроенергії та навантаження на мережу живлення при запуску двигуна. Також впровадження плавного розгону та плавного гальмування забезпечує значно більший термін експлуатації автоматичних вузлів (редукторів, муфт, валів і т.д.) та самого двигуна. На основі цього, для зниження динамічних навантажень та забезпечення стійкості роботи електроприводу потрібна краща система регулювання за допомогою модернізації.

В даний час є актуальною направленість переходу від нерегульованих електроприводів з релейно-контактними схемами керування на регульовані більш дійсні по надійності електропривода.

Частотне регулювання швидкості є більш діючим методом регулювання швидкості двигуна змінного струму забезпечує м'якість та економічність регулювання з відмінними механічними характеристиками.

#### **1.4 Вимоги до електропривода**

До основних факторів, що впливає на вибір системи електроприводу, відносяться:

1.4.1 Характер навантаження змінюється рівномірно. Вимогами до автоматичного регулювання електроприводу є вирівнювання потужності та швидкості в залежності від навантаження, яке надається на вал двигуна електроприводу. Якщо на вал двигуна прикладене недостатнє навантаження, то електропривод зменшує свою швидкість та потужність для забезпечення більшої економії енергоресурсів.

1.4.2 Швидкість двигуна становить 400-750 об/хв в залежності від навантаження на електропривод. При виборі номінальної швидкості двигуна була врахована швидкість руху механізму, що становить 0.5 м/с, його навантаження та його вимоги до регулювання. Електропривод має редуктор та є регульованим, плавне регулювання забезпечує істотні зниження кінетичної енергії рухомих частин електроприводу (редуктор, вали, підшипники). Це скорочує час перехідних процесів і динамічних навантажень в механізмах робочої машини.

1.4.3 Потужність, необхідна для електроприводу робочої машини становить 4 кВт. Слід пам'ятати, що вага, габарити і вартість електричної машини визначається не потужністю, а моментом.

1.4.4 Технологія використання даного електропривода не має наміру використовувати реверс двигуна, тому наявність реверсування електроприводу не є необхідною.

1.4.5 Характер умов роботи електричного обладнання: нормальне сухе приміщення, в якому відсутні ознаки, притаманні приміщенням жарким,



запиленним і з активним хімічним чи органічним середовищем. В сухому приміщенні відносна вологість повітря не перевищує 60 %. Ця група факторів визначає особливості конструктивних виконань електрообладнання, зокрема, способу його захисту від впливу навколишнього середовища. У виробничих умовах у багатьох випадках виявляється можливим винести апаратуру управління в окремі приміщення, де забезпечуються нормальні та безпечні умови експлуатації.

6. Характеристики електричних мереж, що живлять цю установку: величина короткого замикання становить  $I_{кз} = 3.5 * I_n = 36.05$  А, захист від само запуску двигуна за допомогою контактора, наявність АВ в силовій частині електропривода.

## 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

## 2.1 Розрахунок роликового конвеєра

Вхідні матеріали:

$m = 200$	кг, маса контейнера;
$v = 0.5$	м/с, швидкість контейнера;
$l = 1.8$	м, довжина контейнера;
$l_{\text{шир}} = 0.6$	м, ширина контейнера;
$Z = 250$	шт./год., продуктивність конвеєра;
$L = 30$	м, довжина конвеєра;

Умови роботи: середні

Розрахунок роликового конвеєра

2.1.1 Продуктивність конвеєра з формули;

$$Q = m \cdot Z \cdot 10^{-3}, \text{ т/год} \quad (2.1)$$

$$Q = 200 \cdot 250 \cdot 10^{-3} = 50, \text{ т/год}$$

2.1.2 Відстань між вантажами із формули;

$$t_r = 3.6 \cdot v \cdot \frac{m}{Q}, \text{ м} \quad (2.2)$$

$$t_r = 3.6 \cdot 0.5 \cdot \frac{200}{250} = 7.2, \text{ м}$$

Із таблиці (14.1)[1] вибираємо кут нахилу конвеєра-  $\beta = 2$ . Шаг роликів не повинен перевищувати 0.45 довжини вантажа, тобто 810 мм, приймаєм шаг роликів  $t_p=630$  мм (див. параграф 14.2)[1]. Ширина конвеєра( довжина ролика) приймається (див. параграф 14.2)[1] на 50...100 мм більше ширини вантажу. Приймаємо ширину конвеєра 650 мм.

2.1.3 Число роликів, на яких лежить вантаж, по формулі;

$$z' = \frac{l}{t_p} \quad (2.3)$$

$$z' = \frac{1.8}{0.63} = 2.86, \text{ приймаємо } z' = 3$$

2.1.4 Середнє навантаження на один ролик (табл. 14.3)[1];

$$F_p = 0.5 \cdot m \cdot 9.81, \text{ Н} \quad (2.4)$$

$$F_p = 0.5 \cdot 200 \cdot 9.81 = 981, \text{ Н}$$

Із таблиці 14.2[1] при навантаженні, що приходить на один ролик, 981 Н  $\approx$  980 Н і довжині ролика 650 мм вибираємо діаметр необробленого ролика  $D = 60$  мм.

Із таблиці 14.4[1] маса одного ролика  $m_p = 4.8$ . Діаметр цапфи ролика приймаємо  $d = (0.2 \dots 0.25) D = (0.2 \dots 0.25) \cdot 60 = 12 \dots 15$  мм, приймаємо  $d = 12$  мм.

2.1.5 Число роликів в конвеєрі;

$$z = \frac{L}{t_p} \quad (2.5)$$

$$z = \frac{30}{0.63} = 48$$

Приймаємо коефіцієнт тертя котіння вантажа по роликам  $\mu = 5 \cdot 10^{-4}$  м [див. пояснення до формули (14.4)[1]]. Із таблиці 14.5[1] коефіцієнт тертя в цапфах роликів приймаємо для середніх умов роботи  $f = 0.04$  (ролики на підшипниках котіння).

2.1.6 Визначаємо число вантажів, які одночасно знаходяться на конвеєрі;

$$z_0 = \frac{z \times L}{(3600 \times v)} \quad (2.6)$$

$$z_0 = \frac{250 \times 30}{(3600 \times 0.5)} = 4.167, \text{ приймаємо } z_0 = 4$$

2.1.7 Знаходимо опір руху всіх вантажів на приводному конвеєрі;

$$F = mgz_0 \left[ \left( \frac{2\mu}{D} + \frac{f^d}{D} \right) \cos\beta + \sin\beta \right] + m_p g z \frac{f^d}{D}, \text{ Н} \quad (2.7)$$

$$F = 200 \cdot 9.81 \cdot 4 \left[ \left( \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{0.06} + \frac{0.04 \cdot 0.012}{0.06} \right) 0.99 + 0.034 \right] + 4.8 \cdot 9.81 \cdot 48 \frac{0.04 \cdot 0.012}{0.06} = 495.665, \text{ Н}$$

2.1.8 Потужність приводного двигуна конвеєра

$$P = \frac{Fv}{10^3 \eta}, \text{ кВт} \quad (2.8)$$

де  $\eta$  – ККД передач від двигуна до роликів.

$$P = \frac{495.665 \cdot 0.5}{10^3 \cdot 0.97} = 0.255, \text{ кВт}$$

2.1.9 Найбільший крутний момент, що передається на один ролик приводного конвеєра;

$$T = \left( \frac{k_l m}{z^F} + m_p \right) g \frac{f^d}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.9)$$

де  $k_l$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу вантажа на ролики:  $k_l=1.2$ .

$$T = \left( \frac{1.2 \cdot 200}{3} + 4.8 \right) 9.81 \frac{0.04 \cdot 0.012}{2} = 0.2, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

2.1.10 Розрахунок моменту інерції двигуна;

$$j = m \cdot R^2 \cdot z, \text{ кг}\cdot\text{м}^2 \quad (2.10)$$

$$j = 200 \cdot 0.03^2 \cdot 48 = 8.64, \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

## 2.2 Вибір двигуна, редуктора та тормозного пристрою

2.2.1 На основі попередніх розрахунків, був вибраний редуктор типу 1ЦУ-100, він характеризується:

Редуктор циліндричний одноступінчастий горизонтальний вузький призначений для застосування в приводах різних машин і механізмів для зміни крутних моментів і частоти обертання.

Редуктор розрахований для роботи в наступних умовах:  
робота тривала до 24 год. на добу або з періодичними зупинками;  
робота в безперервному і повторно-короткочасному режимах,  
навантаження одного напрямку і реверсивна;

обертання валів в будь-яку сторону;

частота обертання вхідного валу не перевищує 1800 об / хв;

кліматичні виконання У1, У2, У3, УХЛ4, Т1, Т2, Т3 і О4 по ГОСТ 15150-69;

атмосфера типів I і II по ГОСТ 15150-69 при запиленості повітря не більше 10 мг/м<sup>3</sup>.

## Паспортні дані редуктора;

Тип редуктора	Вага, кг	ККД, %	Номінальне радіальне консольне навантаження, прикладене в середині посадкової частини валу, Н	Номінальний крутний момент на вихідному валу, Тном,	передатне число
1ЦУ 100	27	0,97	Вхідне:630	315	4
			Вихідне:2240		

2.2.2 Після чого ми знаходимо швидкість двигуна, який буде обертати ролики, якщо нам відома швидкість руху вантажа по конвеєру;

$$n_{дв} = \frac{60iv}{(\pi D)}, \text{ об/хв} \quad (2.11)$$

$$n_{дв} = \frac{60 \cdot 4 \cdot 0.5}{(3.14 \cdot 0.06)} = 634.62, \text{ об/хв}$$

2.2.3 Ми приводимо момент навантаження на валу двигуна, до моменту навантаження на роликах конвеєра.

$$M_c = \frac{T_y}{i}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.12)$$

$$M_c = \frac{0.2 \cdot 0.97}{4} = 0.048, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.2.4 Далі ми приводимо момент інерції двигуна до моменту інерції на роликах конвеєра.

$$j = j_{дв} + \frac{j_{нав}}{i^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.13)$$

$$j = 0,009 + \frac{8,64}{4^2} = 0,549, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

2.2.5 Розраховуємо потужність на валу двигуна, якщо нам відомі його момент та номінальна швидкість (кВт),  $n=750$  об/хв;

$$P = \frac{M_c \cdot \pi \cdot n}{30}, \text{ кВт} \quad (2.14)$$

$$P = \frac{0.048 \cdot 3.14 \cdot 750}{30} = 3.8, \text{ кВт}$$

2.2.6 На основі цих розрахунків, був вибраний асинхронний двигун:

Таблиця 2.2

Паспортні дані двигуна;

Типорозмір двигуна	Потужність	Частота обертання умовна( фактична)	Напруга	Сила струму	ККД	Коефіцієнт потужності	Співвідношення крутних моментів		Співвідношенн я струмів	Момент інерції	Рівень шуму	Вага
							Мп/Мн	Мmax/Мн				
AIP132S8	P, кВт	n, об/хв	U, В	I, А	$\eta$ , %	cos $\phi$	Мп/Мн	Мmax/Мн	Iп/Iн	J, кг*м <sup>2</sup>	L, дБ(А)	m, кг
	4	750(720)	380/660	10,3	81	0,73	1,9	2	6	0,069	68	70

2.2.7 Далі було проведено вибір та розрахунок тормозного елемента.

Були обрані дискові гальма, де гальмівний момент в них (рисунок 2.1) створюється завдяки тертя між нерухомими 1 і рухомими 2 дисками, що притискаються одне до одного пружиною.

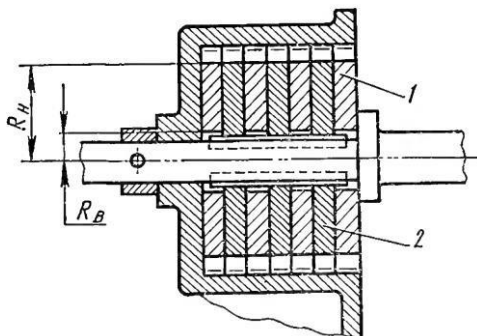


Рис.2.1 – Схема дискового гальма з пружинним замиканням.

2.2.8 Для того, щоб знайти осьове зусилля, нам потрібно знайти середній радіус поверхні тертя, що знаходиться по формулі ,

$$R_c = \frac{(R_H + R_B)}{2}, \text{ м} \quad (2.15)$$



$R_B$  та  $R_H$  – зовнішній та внутрішній радіуси дисків, м;

$$R_c = \frac{(0,05 + 0,012)}{2} = 0,031, \text{ м}$$

2.2.9 Осьове зусилля, що створює тормозний момент  $T_T$ ;

$$F_a = \frac{T_T}{z f R_c} H \quad (2.16)$$

де  $z$  – число пар поверхонь тертя;  $f$  – коефіцієнт тертя між дисками (таблиця 1.41)[1];  $R_c$  – середній радіус поверхонь тертя, м.

$$F_a = \frac{0.0000799}{6 \cdot 0.1 \cdot 0.031} = 0.0042936,$$

2.2.10 Тиск (МПа) на поверхнях тертя;

$$p = \frac{F_a}{\pi(R_H^2 - R_B^2)} \leq [p] \quad (2.17)$$

$$p = \frac{0.0042936}{3,14(0,05^2 - 0,012^2)} = 0.58 \leq [p]$$

Умова виконується, де  $[p]=0.6$  та вибирається з таблиці. 1.41[1]

### 2.3 Перевірка двигуна на перевантажувальну здатність

Вибраний двигун по навантаженню, приведенному до валу повинен бути перевірений на перевантажувальну здатність при перевантаженнях в робочому режимі, а також які виникають під час пуску.

Для того, щоб перевірити двигун на перевантажувальну здатність, ми повинні перевірити, чи виконується наступна умова;

$$M_c \leq M_{\text{прип}} \quad (2.18)$$

де  $M_c$  – момент навантаження на валу двигуна (Н·м);

$M_{\text{прип}}$  – припустимий момент (Н·м);

Припустимий момент знаходиться по формулі;

$$M_{\text{прип}} = 0.8 \cdot M_{\text{макс}}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.19)$$

$$M_{\text{прип}} = 0,8 \cdot 101.867 = 81.493, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

де  $M_{\text{макс}}$  – максимальний момент двигуна, та виходить з відношення  $\frac{M_{\text{макс}}}{M_n} = 2$ , яке вказане в паспортних даних;

$$M_{\text{макс}} = 2 \cdot M_n = 2 \cdot 50.933 = 101.867, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.20)$$

$$M_{\text{макс}} = 2 \cdot 50.933 = 101.867, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

де  $M_n$  – номінальний момент двигуна з паспортних даних двигуна;

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.21)$$

де  $P_n$  – номінальна потужність двигуна,  $n_n$  – номінальна швидкість обертання двигуна, відповідно до паспортних даних;

$$M_H = 9550 \frac{4.0}{750} = 50.933, \text{Н}\cdot\text{м}$$

Прирівнявши отримані результати, ми можемо переконатися, що умова виконується, отже даний двигун пройшов перевірку на перевантажувальну здатність;

$$0.048 \leq 81.493$$

## 2.4 Вибір перетворюючого пристрою

Застосування перетворювачів енергії в електроприводі обумовлене в основному необхідністю регулювання швидкості обертання електродвигунів. У більшості первинних джерел електроенергії (промислова та побутова мережі змінного струму, контактна мережа електротранспорту, акумулятор) рівень вихідної напруги та його частота є незмінними. Зміна швидкості обертання двигуна постійного струму звичайно здійснюється шляхом зміни рівня напруги, що подається до обмотки якоря. Для цього поміж двигуном та живильною мережею вмикають спеціальний перетворювач електричної енергії – керований випрямляч. При застосуванні двигунів змінного струму з тією ж метою використовують перетворювачі частоти (ПЧ, частотні перетворювачі, «частотники»). Саме такі перетворювачі останніми роками розвивалися найбільш динамічно і фактично змінили лице сучасного електропривода.

Більшість сучасних перетворювачів частоти мають два каскади перетворення енергії та складаються з випрямляча, згладжувального фільтра та інвертора. Випрямляч перетворює енергію змінного струму на енергію постійного струму, фільтр згладжує пульсації вихідної напруги випрямляча, а

інвертор здійснює зворотне перетворення, перетворюючи енергію постійного струму на енергію змінного струму, проте з регульованими рівнем напруги та його частотою.

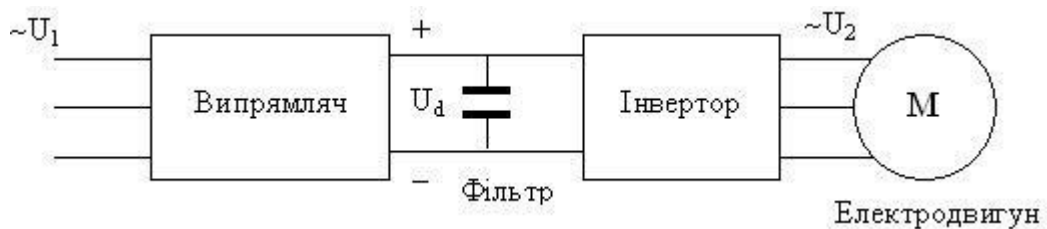


Рис. 2.2 – Загальна структура перетворювача частоти.

Частотні перетворювачі працюють по принципу ШІМ(широотно-імпульсна модуляція) - процес керування шириною (тривалістю) високочастотних імпульсів за законом, який задає низькочастотний сигнал. В електроніці це може бути керування середнім значенням вихідної напруги шляхом зміни тривалості замкнутого стану електронного (електромеханічного) ключа.,

Перемикання відбувається з великою швидкістю, відповідно до типу навантаження, з таким розрахунком, щоб період модульованого сигналу був істотно меншим, ніж інерційність системи, до якої подається сигнал. Частота перемикання може становити декілька разів на хвилину для повільних процесів (наприклад електропечі); 100 Гц для електролампи; від декількох до десятків кГц для електродвигуна або від десятків до сотень кГц для аудіопідсилювача і комп'ютерного блоку живлення.

Головною відзнакою ШІМ є мала втрата енергії на електронному перемикачеві. Він здебільшого перебуває або у вимкненому стані, коли його опір максимальний, або в режимі насичення — з мінімальним опором, тобто або струм, або падіння напруги на ньому близькі до нуля. ШІМ також органічно вкладається в цифрові технології, велика кількість ШІМ-контролерів виробляється у вигляді мікросхем. Класичним прикладом є мікросхеми UC3842...UC3844.

Дуже важливо зробити правильний вибір перетворювача. Від нього буде залежати ефективність і ресурс роботи перетворювача частоти і всього електроприводу в цілому.

Так якщо потужність перетворювача буде занадто завищена, він не зможе належним чином забезпечити захист двигуна. З іншого боку, якщо потужність перетворювача мала, він не зможе забезпечити високодинамічний режим роботи і через перевантаження може вийти з ладу.

Правильна експлуатація так само сильно впливає на термін служби перетворювача. При виборі перетворювача частоти треба опиратися не тільки на потужність двигуна, а також діапазон робочих швидкостей двигуна, діапазоном робочих моментів обертання, характером навантаження і циклограми роботи.

Для вибору частотного перетворювача потрібно визначити активну потужність двигуна ;

$$P_1 = \frac{P_n}{\eta_n}, \text{ Вт} \quad (2.21)$$

де  $P_n$  – номінальна потужність двигуна,  $\eta_n$  – ККД двигуна, взяті з паспортних даних двигуна.

$$P_1 = \frac{4000}{0.81} = 4938, \text{ Вт}$$

Також знаходимо номінальний струм ;

$$I_{\text{нм}} = \frac{P_1}{(3 \cdot U_{\text{нм}} \cdot \cos\varphi)}, \text{ А} \quad (2.22)$$

Де  $U_{HM}$  – навантаження мережі,  $\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності двигуна, взятий з паспортних даних двигуна.

$$I_{HM} = \frac{4938}{(3 \cdot 380 \cdot 0.73)} = 5.934, \text{ A}$$

Опираючись на розрахункові дані двигуна був вибраний частотний перетворювач типу Schneider Electric Altivar 71.

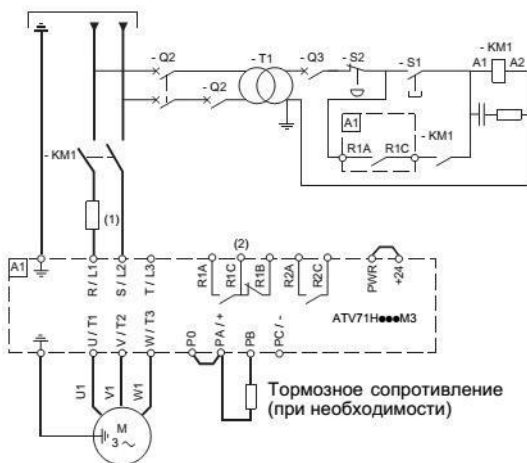


Рис. 2.3 – Схема підключення перетворювача частоти

Таблиця 2.3

### Паспортні дані частотного перетворювача

Потужність двигуна	Перетворювач частоти						
	Потужність перетворювача	Ном. напруга живлення	Частота живлення	Лінійний струм	Кількість фаз живлення	Ном. струм вихідний	Макс. Перехідний струм
кВт	кВт	В	Гц	А		А	А
4.0	5.5	380...480	50...60	20.3	3	14.3	21.5

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

### 3.1 Загальні відомості

При дослідженні перехідних процесів у трифазних асинхронних електродвигунах доцільно прийняти такі припущення:

3.1.1 Обмотки фаз статора та ротора симетричні, їх вісі зсунуті на кут  $120^\circ$ .

3.1.2 Намагнічуючі сили обмоток двигуна розподілені синусоїдально вздовж кола повітряного зазору.

3.1.3 Втрат у сталі статора та ротора на гистерезис та вихрові струми немає.

3.1.4 Насичення магнітного кола відсутнє.

В реальній трифазній системі координат з осями А, В, С для опису динаміки асинхронного двигуна (АД) використовується громізка система диференційних рівнянь, яка об'єднує рівняння для кожної фазної обмотки статора і ротора. При обертанні ротора взаємне положення обмоток статора та ротора безперервно змінюється, відповідно змінюється і взаємна індуктивність між ними. Це призводить до того, що у диференційних рівняннях з'являються періодичні коефіцієнти, які залежать від миттєвого кутового положення ротора.

Для зменшення кількості рівнянь і виключення гармонійних коефіцієнтів у переважній більшості випадків використовують перетворення координат і розглядають АД як узагальнену двофазну електричну машину з однією парою полюсів.

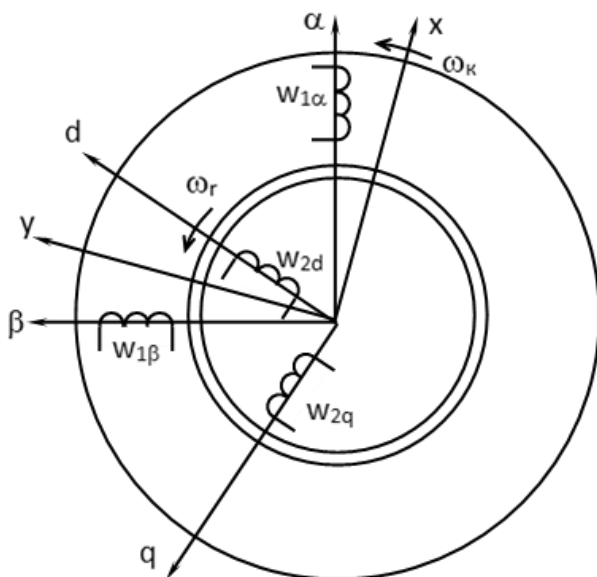


Рис.3.1 – Узагальнена електрична машина



При математичному описі АД зручно оперувати не миттєвими значеннями координат (струмом, напругою, потокозчепленням), а їх результуючими векторами. Результуючим звать такий вектор, проєкції якого на осі фаз чисельно дорівнюють миттєвим значенням фазних величин.

При переході від трифазної системи координат А, В, С до еквівалентної двофазної “α-β”, та при зворотному перетворенні величини результуючих векторів залишаються незмінними. У найбільш розповсюдженому випадку змінні трифазної машини задовольняють умові:

$$X_A + X_B + X_C = 0. \quad (3.1)$$

Тоді пряме перетворення координат 3→2 виглядає так:

$$\begin{cases} X_\alpha = X_A; \\ X_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}}(X_B - X_C), \end{cases} \quad (3.2)$$

а зворотне перетворення 2→3:

$$\begin{cases} X_A = X_\alpha; \\ X_B = -\frac{1}{2}X_\alpha + \frac{\sqrt{3}}{2}X_\beta; \\ X_C = -\frac{1}{2}X_\alpha - \frac{\sqrt{3}}{2}X_\beta. \end{cases} \quad (3.3)$$

Якщо умова (3.1) не виконується, то у рівняннях (3.2), (3.3) з’являються змінні нульової послідовності. У приведених виразах не зберігається баланс миттєвої потужностіу трифазній та двофазній машинах. Незмінність потужності

АД при перетвореннях координат 3→2 та 2→3 забезпечується введенням коефіцієнта 3/2 у рівняння для обчислення електромагнітного моменту двофазної машини.

На рис.1 індексом “1” позначені величини статора, а індексом “2” – ротора. У прямокутній системі координат x-y, що обертається з довільною швидкістю  $\omega_k$ , узагальнений асинхронний двигун описується рівняннями Парка – Горєва у векторній формі:

$$\begin{cases} \bar{u}_1 = R_1 \bar{i}_1 + \frac{d\bar{\Psi}_1}{dt} + j\omega_k \bar{\Psi}_1; \\ \bar{u}_2 = R_2 \bar{i}_2 + \frac{d\bar{\Psi}}{dt} + j\bar{\Psi}_2(\omega_k - \omega_r p_n); \end{cases} \quad (3.4)$$

де  $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{i}_1, \bar{i}_2, \bar{\Psi}_1, \bar{\Psi}_2$  – результуючі вектори напруг, струмів, потокозчеплень відповідно;  $R_1, R_2$  – активні опори обмоток статора та ротора;  $p_n$  – кількість пар полюсів двигуна;  $\omega_r$  – кутова швидкість ротора.

Електромагнітний момент АД визначається як векторний добуток потокозчеплення та струму:

$$M = \frac{3}{2} p_n (\bar{\Psi} \times \bar{i}). \quad (3.5)$$

Вектори потокозчеплень можна записати через результуючі вектори струмів статора і ротора:

$$\begin{cases} \bar{\Psi}_1 = L_{11} \bar{i}_1 + L_{m1} \bar{i}_2; \\ \bar{\Psi}_2 = L_{22} \bar{i}_2 + L_{m1} \bar{i}_1; \end{cases} \quad (3.6)$$

де  $L_1 = L_{1\sigma} + L_m$ ;  $L_2 = L_{2\sigma} + L_m$  - повні індуктивності обмоток статора та ротора;  $L_m$  - максимальна взаємна індуктивність між цими обмотками;  $L_{1\sigma}, L_{2\sigma}$  - індуктивності розсіювання обмоток статора і ротора.

Беручи до уваги (3.6), крім рівняння (3.5) для визначення електромагнітного моменту можна отримати ще кілька еквівалентних виразів, до котрих входять комбінації інших координат АД.

Для повного опису перехідних процесів в АД до рівнянь напруг та моменту слід додати рівняння руху приводу;

$$M - M_c = J \frac{d\omega_r}{dt} \quad (3.7)$$

де  $M_c$  - момент опору на валу АД,  $J$  - момент інерції електропривода, приведений до вала АД.

На практиці користуються не векторними виразами (4)-(6), а записують їх в проекціях на дійсну та уявну осі системи координат. Крім того, завдяки певному вибору швидкості системи координат  $\omega_k$  вдається дещо спростити рівняння АД.

Найбільш поширені такі варіанти вибору швидкості  $\omega_k$ :

1)  $\omega_k = 0$ . У цьому випадку усі величини АД приводяться до нерухомої системи координат “ $\alpha$ - $\beta$ ”, дійсна вісь “ $\alpha$ ” якої жорстко зв’язана з віссю фази А обмотки статора, а уявна вісь “ $\beta$ ” опереждає її на кут 90 електричних градусів. В такій системі напруги і струми обмоток АД залишаються змінними, але мають однакову частоту, яка дорівнює кутовій частоті мережі живлення  $\omega_o = 2\pi f_n$ .

2)  $\omega_k = \omega_r p_n$ . Реальні змінні АД перетворюються до системи координат “d-q”, швидкість обертання якої дорівнює електричній швидкості ротора  $\omega_{rП}$ . Тут також напруги та струми виявляються змінними, але мають як в роторі, так і в статорі частоту  $(\omega_o - \omega_r p_n)$ , тобто частоту струму ротора.

3)  $\omega_k = \omega_0$ . Такий вибір  $\omega_k$  є найбільш доцільним при дослідженні перехідних процесів в АД, керування яким здійснюється шляхом зміни частоти та напруги обмотки статора (так зване “частотне керування”). У системі координат “х-у”, яка обертається із синхронною швидкістю поля АД  $\omega_0$ , прикладені до обмоток статора реальні змінні напруги при застосуванні формул (2) перетворюються у постійну напругу  $U_x = const$ , напрям якої співпадає з напрямом дійсної вісі “х”.

4) При синтезі та дослідженні систем векторного керування швидкістю електропривода з АД не встановлюють якоесь фіксоване значення  $\omega_0$ , а пов’язують дійсну вісь “х” системи координат “х-у” з результуючим просторовим вектором струму, напруги, або потокозчеплення статора чи ротора. Усього можливо скласти 6 головних структурних схем АД, в залежності від того, який вектор буде використовуватись як опорний:  $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \bar{i}_1, \bar{i}_2, \bar{\Psi}_1, \bar{\Psi}_2$ . Орієнтація системи “х-у” відносно результуючого вектора потокозчеплення ротора  $\bar{\Psi}_2$  забезпечує максимальне спрощення рівняння моменту двигуна і зумовлює відносно просте регулювання швидкості АД.

## 3.2 Розробка математичної моделі електропривода

3.2.1 На основі попередніх розрахунків та паспортних даних двигуна знаходимо номінальний струм ;

$$I_{\text{фн}} = \frac{P_{\text{н}}}{3U_{\text{фн}}\eta_{\text{н}}\cos\varphi_{\text{н}}}, \text{ A} \quad (3.8)$$

де  $P_{\text{н}}$  – номінальна потужність двигуна з паспортних даних,  $U_{\text{фн}}$  – навантаження мережі,  $\eta_{\text{н}}$  - ККД двигуна,  $\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності двигуна, взятий з паспортних даних двигуна.

$$I_{\text{фн}} = \frac{4000}{3 \cdot 380 \cdot 0.81 \cdot 0.73} = 5.934, \text{А}$$

3.2.2 Тоді знайшовши базовий опір по формулі маємо

$$Z^{\circ} = U_{\text{фн}} / I_{\text{фн}}, \text{ Ом} \quad (3.9)$$

$$Z^{\circ} = 380 / 5.934 = 64.038, \text{ Ом}$$

3.2.3 Отримуємо значення абсолютних опорів:

Для їх розрахунку нам потрібні параметри схеми заміщення, які були взяті з довідника та представлені в таблиці 3.1;

Таблиця 3.1

Параметри схеми заміщення;

Параметри схеми заміщення, в.о.				
$x_{\mu}$	В номінальному режимі роботи			
	$r_1$	$x_1$	$r_2$	$x_2$
1.6	0.068	0.10	0.058	0.17

Активний та реактивний опір фази статора;

$$R_1 = r_1 \cdot Z, \text{ Ом} \quad (3.10)$$

$$X_1 = x_1 \cdot Z, \text{ Ом} \quad (3.11)$$

де  $r_1$  – активний опір фази статора у в.о.,  $x_1$  – реактивний опір фази статора у в.о.

$$R_1 = 0.07 \cdot 64.038 = 4.48, \text{ Ом}$$

$$X_1 = 0.11 \cdot 64.038 = 7.044, \text{ Ом}$$

Активний та реактивний опір фази ротора;

$$R_2 = r_2 \cdot Z, \text{ Ом} \quad (3.12)$$

$$X_2 = x_2 \cdot Z, \text{ Ом} \quad (3.13)$$

Реактивний опір ланцюга намагнічування;

$$X_\mu = x_\mu \cdot Z, \text{ Ом} \quad (3.14)$$

де  $r_2$  – активний опір фази ротора у в.о.,  $x_2$  – реактивний опір фази ротора у в.о.,  $x_\mu$  - реактивний опір ланцюга намагнічування у в.о.

$$R_2 = 0.061 \cdot 64.038 = 3.906, \text{ Ом}$$

$$X_2 = 0.19 \cdot 64.038 = 12.167, \text{ Ом}$$

$$X_\mu = 1.8 \cdot 64.038 = 115.268, \text{ Ом}$$

3.2.4 Далі знаходимо базовий момент

$$M_H = \frac{9.55 \cdot P_H}{n (1 - s_H)}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.15)$$

де  $n$  – частота обертання валу двигуна,  $s_n$  – номінальне ковзання.

$$M_n = \frac{9.55 \cdot 4000}{750 \cdot (1 - 0.15)} = 59.992, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

3.2.5 Знаходимо кількість пар полюсів по формулі;

$$p_n = 3000/n \quad (3.16)$$

$$p_n = 3000/750 = 4$$

3.2.6 Далі знаходимо номінальну кутову швидкість;

$$\omega_o = \pi \cdot n / 30, \text{ с}^{-1} \quad (3.17)$$

$$\omega_o = 3.14 \cdot 750 / 30 = 78.54, \text{ с}^{-1}$$

3.2.7 Після чого, ми можемо визначити параметри обмоток двигуна:

Індуктивність фази статора;

$$L_1 = \frac{X_1 + X_\mu}{\omega_n p_n}, \text{ Гн} \quad (3.18)$$

$$L_1 = \frac{7.044 + 115.268}{78.54 \cdot 4} = 0.347, \text{Гн}$$

Індуктивність фази ротора;

$$L_2 = \frac{X_2 + X_\mu}{\omega_{\text{нрп}}}, \text{Гн} \quad (3.19)$$

$$L_2 = \frac{12.167 + 115.268}{78.54 \cdot 4} = 0.361, \text{Гн}$$

Взаємна індуктивність фази статора та ротора;

$$L_m = \frac{X_\mu}{\omega_{\text{нрп}}}, \text{Гн} \quad (3.20)$$

$$L_m = \frac{115.268}{78.54 \cdot 4} = 0.3261418, \text{Гн}$$

3.2.8 Далі визначаємо допоміжний коефіцієнт  $k_\sigma$ , який знаходиться по формулі;

$$k_\sigma = \frac{1}{L_1 L_2 - L_m^2}, 1/\text{Гн}^2 \quad (3.21)$$

$$k_\sigma = \frac{1}{0.389 \cdot 0.406 - 0.3669095^2} = 53.6019678, 1/\text{Гн}^2$$



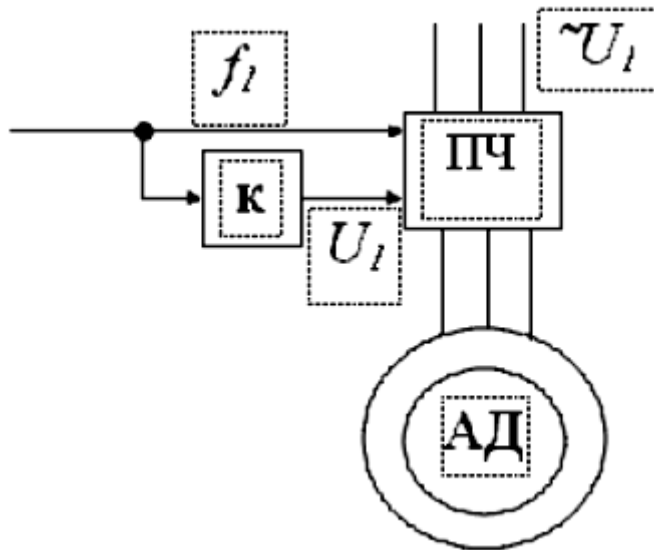


Рис.3.1 – Функціональна  
схема електроприводу

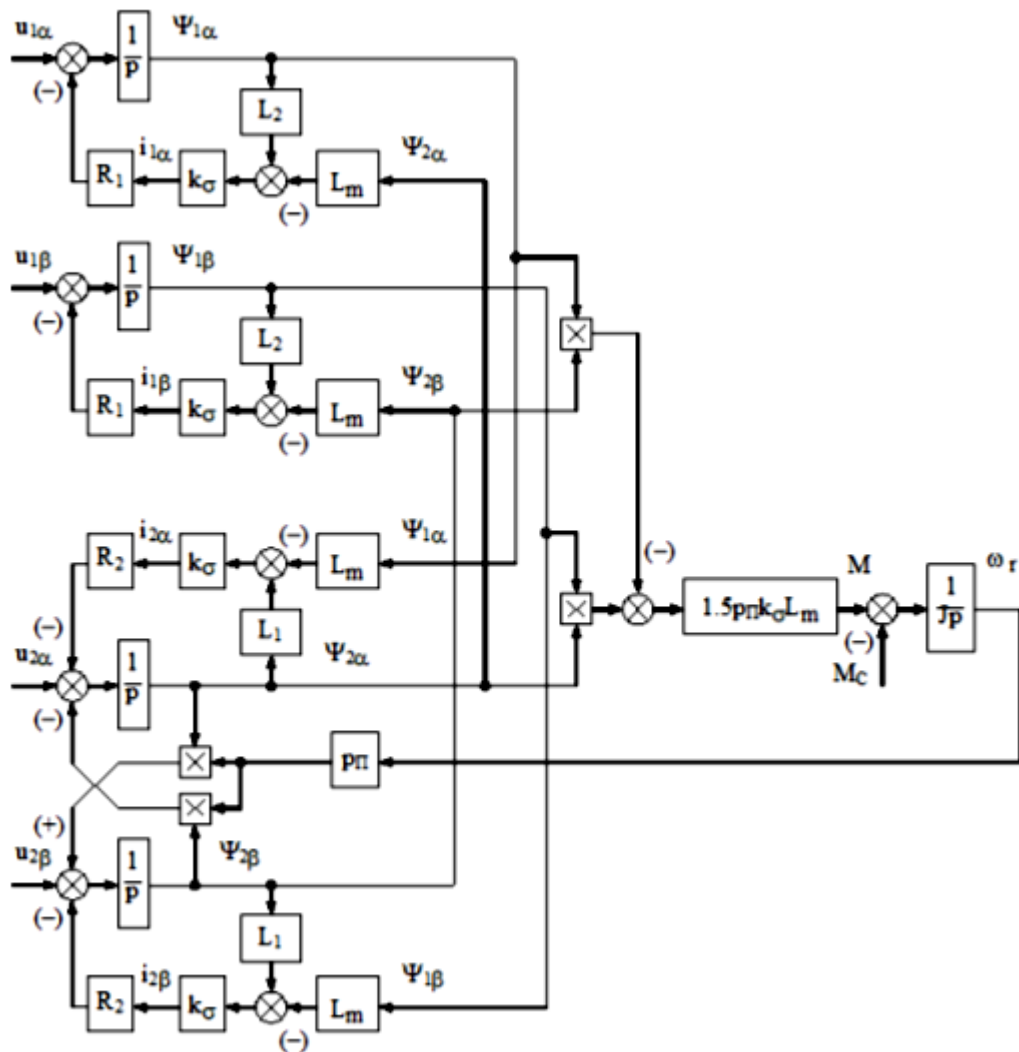


Рис.3.2 – Структурна схема динамічної моделі двигуна у нерухомій  
системі координат

### 3.3 Розрахунок параметрів системи скалярного керування

Прийнято розрізняти два основних способи керування електроприводами змінного струму, що використовують як перетворювачів енергії напівпровідникові перетворювачі частоти: скалярне і векторне.

Векторне управління частотно-регульованого асинхронного електроприводу пов'язане як із зміною частоти і поточних значень змінних АД, так і з взаємною орієнтацією їх векторів в полярній або декартовій системах координат. Регулюванням амплітудних значень змінних і кутів між їх векторами реалізується повне управління АД як в статиці, так і в динаміці, забезпечуючи тим самим помітне поліпшення якості перехідних процесів в порівнянні з скалярним управлінням. Інформація про поточні значення і просторове положення векторів змінних АД може бути отримана як прямим їх вимірюванням за допомогою відповідних датчиків, так і побічно на основі математичної моделі АД.

Застосування методів векторного керування залежить від області застосування електроприводу. Якщо діапазон виміру значення швидкості не перевищує 1: 100, а вимоги, що пред'являються до точності, коливаються в межах  $\pm 1,5\%$ , то використовується бездатчикова система управління. Якщо вимірювання швидкості здійснюється в межах досягають значень 1: 10000 і більше, а рівень точності повинен бути досить високим ( $\pm 0,2\%$  при частоті обертання нижче 1 Гц), або ж необхідно позиціонувати вал або здійснювати регулювання моменту на валу при низьких частотах обертання, то застосовується система, що має зворотний зв'язок по швидкості.

Переваги векторного методу управління асинхронним двигуном:

Високий рівень точності при регулюванні швидкості обертання валу, незважаючи навіть на можливу відсутність датчика швидкості.

Здійснення обертання двигуна на малих частотах відбувається без ривків, плавно.

Якщо встановлений датчик швидкості, то можна досягти номінального значення моменту на валу навіть при нульовому значенні швидкості.

Швидке реагування на можливу зміну навантаження - різкі скачки навантаження практично не відображаються на швидкості електроприводу.

Високий рівень ККД двигуна, за рахунок знижених втрат через намагнічування і нагрівання.

Незважаючи на очевидні переваги, метод векторного управління має і певні недоліки - велика складність обчислень, для роботи необхідне знання параметрів двигуна. Крім усього іншого коливання значення швидкості при постійному навантаженні значно більше, ніж при скалярному методі управління. До речі, існують такі сфери, де використовуються електроприводи виключно зі скалярним методом управління. Наприклад, груповий електропривод, в якому один перетворювач підживлює кілька двигунів.

Саме тому найбільшого поширення набули асинхронні електроприводи зі скалярним керуванням. Його використовують в приводах компресорів, вентиляторів, насосів і інших механізмів в яких необхідно утримувати на певному рівні або швидкість обертання валу електродвигуна (застосовується датчик швидкості), або якогось технологічного параметра (наприклад, тиск у трубопроводі, із застосуванням відповідного датчика).

Принцип дії скалярного керування асинхронним двигуном - амплітуда і частота живлячої напруги змінюються по закону  $\frac{U}{f^n} = const$ , де  $n \geq 1$ . Те, як буде виглядати ця залежність в конкретному випадку, залежить від вимог, висунутих навантаженням електроприводу. Як правило, в якості незалежного впливу виступає частота, а напруга при певній частоті визначається видом механічної характеристики, а також значеннями критичного і пускового моментів. Завдяки скалярному управлінню забезпечується постійна перевантажувальна здатність асинхронного двигуна, незалежна від частоти напруги, і все ж при досить низьких частотах може відбутися значне зниження моменту, що розвивається двигуном. Максимальне значення діапазону

скалярного управління, при якому можливе здійснення регулювання значення швидкості обертання ротора електродвигуна, без втрати моменту опору не перевищує 1:10.

Скалярний управління асинхронним двигуном досить просто реалізується, але все ж є два значні недоліки. По-перше, якщо на валу не встановлено датчик швидкості, то неможливо здійснювати регулювання значення швидкості обертання валу, оскільки вона залежить від впливає на електропривод навантаження. Установка датчика швидкості з легкістю вирішує дану проблему, але ще одним значним недоліком залишається - відсутність можливості регулювання значення моменту на валу двигуна. Можна звичайно встановити датчик моменту, але вартість подібних датчиків, як правило, перевищує вартість самого електропривода. Причому, навіть якщо встановити датчик управління моментом, то процес управління цим самим моментом виявиться неймовірно інерційним. Ще одне «але» - скалярний управління асинхронним двигуном характеризується тим, що неможливо здійснення одночасного регулювання швидкості і моменту, тому доводиться здійснювати регулювання тієї величини, яка в даний момент часу найбільш важлива в силу умов технологічного процесу.

Для регульованого електроприводу роликowego конвеєра розрахованого в даному дипломному проекті було вибране саме скалярне керування, так як технологія роботи даного електроприводу не потребує точності регулювання, якою характеризується векторне керування, воно є не таким складним в розрахунку та налагодженні, як векторне та значно дешевшим.

#### 4.3.1 Розрахунок системи керування без зворотніх зв'язків:

Розрахунок коефіцієнта підсилення задавача інтенсивності(ЗІ);

$$k_{zi} = \frac{U_{зи}}{T} \quad (3.22)$$

де  $T = j \frac{\omega_n p_n}{M_n} = 0.0549 \frac{78.54 \cdot 4}{59.992} = 0.228$  с - час прискорення до номінальної швидкості,  $U_{зи}$  - завдання на швидкість.

$$k_{zi} = \frac{10}{0.288} = 34.742$$

4.3.2 Розрахунок коефіцієнта підсилення відпрацювання закону регулювання;

$$k = \frac{U_H}{2\pi f_1} \quad (3.23)$$

$$k = \frac{380}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 1.21$$

3. Розрахунок коефіцієнта підсилення перетворювача напруги;

$$k_{\Pi} = \frac{U_H}{U_{\text{вх}\Pi}} \quad (3.24)$$

де  $U_{\text{вх}\Pi} = 10k = 12.096$  В, вхідна напруга на перетворювач напруги.

$$k_{\Pi} = \frac{380}{12.096} = 31.416$$

4. Розрахунок коефіцієнта підсилення перетворювача частоти;

$$k_{\text{ч}} = \frac{2\pi f_1}{U_{\text{вх}\text{ч}}} \quad (3.25)$$

де  $U_{\text{вх}\text{ч}} = 10$  В, вхідна напруга на перетворювач частоти.

$$k_{\text{ч}} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{10} = 31.416$$

5. Постійна часу перетворювачів приймається  $T_{\mu}=0.005$ ,  $s$  і є незмінною.

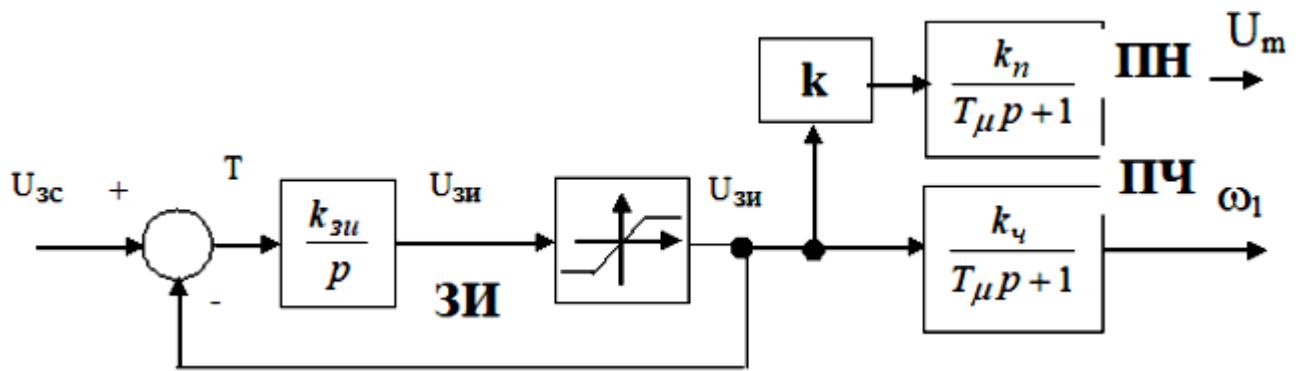


Рис.3.3 – Структура системи керування.

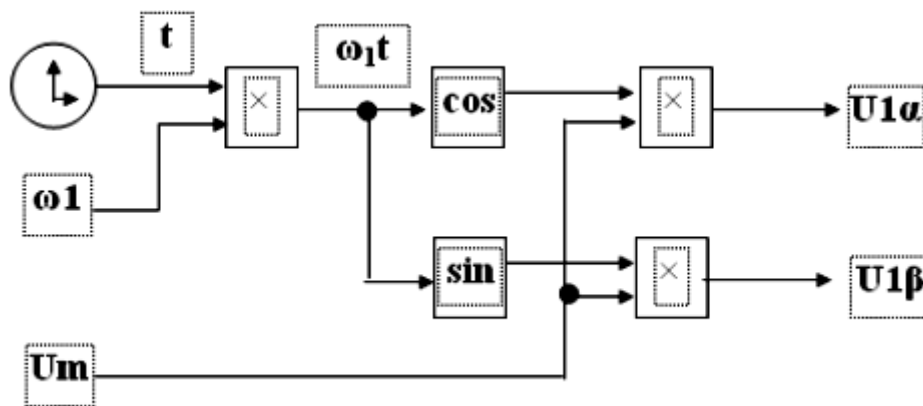


Рис.3.4 – Схема джерела



При запуску асинхронного двигуна ми бачимо, що електромагнітний момент зростає, поки зростає швидкість обертання двигуна, як тільки швидкість досягла свого номінального значення, момент падає, так як двигуну більше не треба прикладати зусилля на валу ротора.

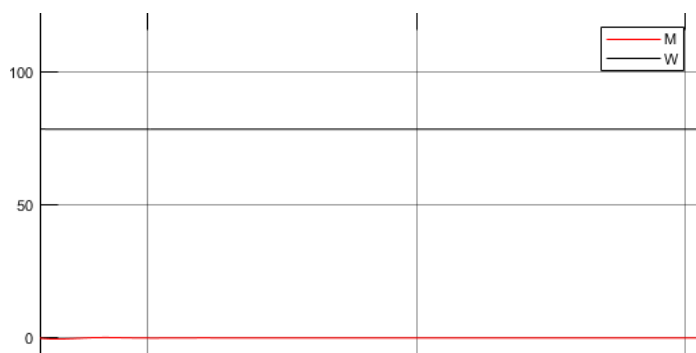


Рис.3.7 – Режим холостого ходу

На цьому графіку зображені незмінні усталені значення моменту та швидкості асинхронного двигуна, що відповідає дійсності при роботі двигуна в режимі холостого ходу.

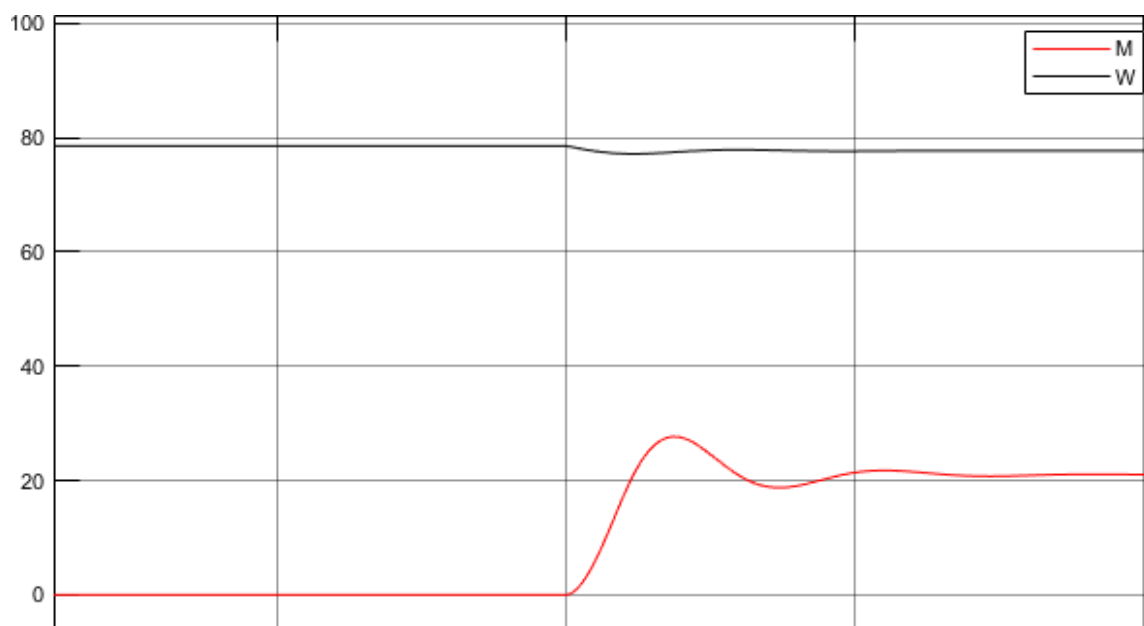


Рис.3.8 – Режим роботи двигуна при навантаженні

На цьому графіку зображено, що при прикладанні навантаження на вал двигуна швидкість обертання валу незначною мірою падає а момент двигуна зростає, що є дійсним виходячи з властивостей асинхронного двигуна.



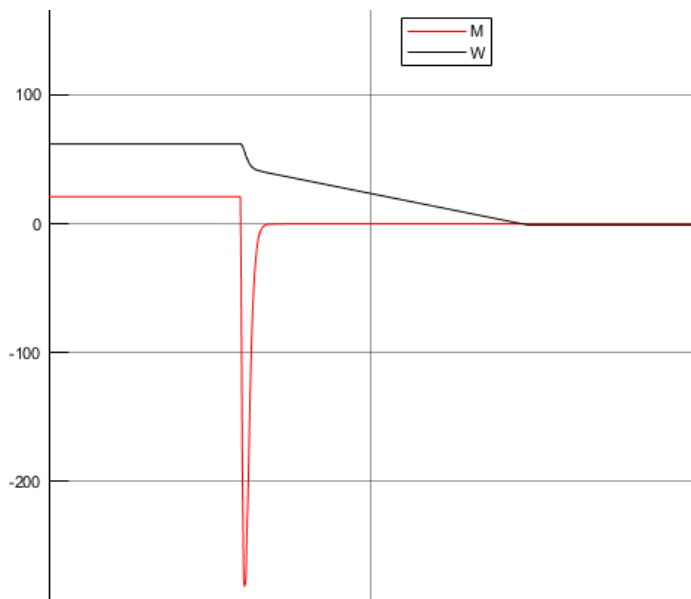


Рис.3.9 – Режим регулювання швидкості

При регулюванні швидкості обертання валу двигуна, ми спостерігаємо невелику просадку по швидкості та скачки моменту, що є не критичним для даного електроприводу, так як вони швидко приймають потрібні значення



Рис.3.10 – Режим гальмування

При гальмуванні спостерігається скачок моменту та невелике затягування зниження швидкості це відбувається завдяки задатчику інтенсивності.

Дослідивши роботу двигуна в середовищі МАТАВ в додатку Simulink можна переконатися, що вибраний двигун підходить для даної технології та конструкції електроприводу роликового конвеєра та виконує умови регулювання швидкості, які були поставлені перед ним.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 4.1 Вимоги безпеки при експлуатації конвеєрів

### 4.1.1. Загальні вимоги безпеки

- До обслуговування ланцюгових конвеєрів допускаються особи, які досягли 18 років, попередньо пройшли медичний огляд, а також вступний інструктаж з техніки безпеки, інструктаж на робочому місці, навчені електробезпеки по I кваліфікаційній групі.

- При обслуговуванні ланцюгових конвеєрів робітник повинен знати і дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку підприємства. Паління дозволяється тільки в спеціально обладнаних місцях виробничих будівель і споруд

- Найбільш небезпечними при неправильному обслуговуванні роликотранспортованих конвеєрів є привід і відкриті рухомі елементи роликотранспорту.

- Обслуговуючий роликотранспортований конвеєр повинен знати правила пожежної безпеки і при виявленні в виробничих приміщеннях ознак загоряння повинен негайно відключити все електрообладнання, повідомити про загоряння і пожежну охорону підприємства і вжити заходів до ліквідації загоряння первинними засобами пожежогасіння.

- При нещасному випадку необхідно негайно надати першу (долікарську) допомогу потерпілому, і при необхідності викликати лікаря, повідомити майстру, зберегти по можливості обстановку на робочому місці і стан устаткування такими, якими вони були в момент події, якщо це не загрожує здоров'ю оточуючих, не приведе до аварії.

- Обслуговуючий роликотранспортований конвеєр несе відповідальність за порушення вимог інструкції в порядку, встановленому правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства і чинним законодавством.

### 4.1.2. Вимоги безпеки перед початком роботи

- Працюючий, обслуговуючий ланцюгові конвеєри, зобов'язаний надіти головний убір і спецодяг, ретельно його заправити, щоб не було звисаючих

кінців, які могли б бути захоплені обертовими частинами машини. При цьому рукави і брюки костюма повинні бути застебнуті, волосся прибрані під головний убір. Забороняється носити поверх спецодягу поясні ремені, працювати в халатах, хустках.

- Беручи зміну, робочий зобов'язаний;

- Ознайомитися з результатами роботи попередньої зміни, з'ясувати чи були неполадки в роботі конвеєра, їх причини.

- Перевірити наявність і справність захисних огорожень, щільність закриття кришок коробів, або кожухів конвеєра.

- Перевірити санітарний стан і освітленість робочого місця.

- Перевірити справність пристосувань, інструментів, справність датчиків і реле обриву ланцюга.

- Перевірити візуально справність заземлюючих провідників, цілісність провідника заземлення і надійність приєднання до корпусу електродвигуна.

- Перевірити натяг ланцюгів, наявність масла в редукторах, стан підшипників, роликів та їх кріплення. Редуктор приводу повинен мати надійний і міцно закріплений корпус, без щілин і зазорів.

- Про запуск ланцюгового конвеєра необхідно оголосити працюючим поблизу людям.

- Пуск ланцюгового транспортера зробити вхолосту і, переконавшись в його нормальній роботі і роботі подальшого обладнання, поступово завантажувати його продуктом.

#### 4.1.3 Вимоги безпеки під час роботи;

- Робочий, який обслуговує ролик-ланцюговий конвеєр, під час роботи зобов'язаний стежити за роботою конвеєра, натягом ланцюга, станом і наявністю огорож, мастила, не допускати нагрівання поверхонь, що труться.

Ланцюг транспортера повинен рухатися вільно по напрямних, без перекосів і провисання.

- Не дозволяється під час роботи ланцюгового конвеєра проводити будь-які роботи, наповнювати підшипники роликів мастильним матеріалом, знімати огороження приводу.

- Переходити через працюючий конвеєр можна тільки по спеціальними перехідним місткам.

Не дозволяється ходити по конвеєру та спиратись на його конструкцію.

- При необхідності роботи на висоті слід користуватися справними переносними драбинами або драбинами.

- Робочий повинен стежити за нагріванням підшипників. Температура корпусу підшипника не повинна перевищувати 60 ° С.

#### 4.1.4 Вимоги безпеки в аварійній ситуації;

- В аварійній ситуації, коли потрібно зупинити обладнання, необхідно знеструмити його за допомогою кнопки «Стоп» і вивісити таблички «Не вмикати. Працюють люди!» На пусковій кнопці і в РП.

- У разі торкання ланцюга за короб конвеєра або потрапляння стороннього предмета в конвеєр слід його негайно зупинити і повідомити змінному майстру.

Наступний пуск конвеєра виконувати після з'ясування причин і усунення несправностей.

- При появі загоряння, іскри або раптового припиненні подачі електроенергії слід негайно вимкнути всі пускові прилади електродвигунів.

#### 4.1.5 Вимоги безпеки після закінчення роботи

- Після закінчення зміни робочий, обслуговуючий ланцюговий конвеєр, зобов'язаний прибрати робоче місце і здати зміну.

- Про всі виявлені порушення техніки безпеки повідомити начальнику зміни (майстра).

## 4.2 Розрахування заземлення електроустановки

Заземлення - це навмисне електричне з'єднання з землею, або її еквівалентом, металевих неструмоведучих частин електроустановок, які можуть опинитися під напругою у зв'язку з пробоем ізоляції на корпус.

Згідно ПУЕ, для забезпечення електробезпеки, всі металеві частини електрообладнання, по яких не повинен проходити струм повинні бути заземлені.

4.2.1 Визначаю струм замикання на землю;

$$I_3 = \frac{3 \cdot U_{\phi}}{350} (3,5 l_{к.л.} + 1 l_{в.л.}), \text{ А} \quad (4.1)$$

де  $U_{\phi}=380$  – фазна напруга мережі, кВ;  $l_{к.л.}, l_{в.л.}$  – відповідно довжина електрично зв'язаних кабельних і повітряних ліній, км.

$$I_3 = \frac{3 \cdot 380}{350} (3,5 \cdot 1 + 1) = 8,4, \text{ А}$$

4.2.2 Визначаю значення опору заземлення  $R_3$ . За ПУЕ визначається в залежності від напруги,  $660\text{В} > U > 380\text{В}$ ,  $R_3 = 4$  Ом.

Опір природного заземлювача  $R_{п} = 18,7$  Ом.

4.2.3 Визначається необхідний опір штучних заземлювачів;

$$R_{ш} = \frac{R_n R_{\exists}}{R_n - R_{\exists}}, \text{ Ом} \quad (4.2)$$

$$R_{ш} = \frac{18.7 \cdot 4}{18.7 - 4} = 5.088, \text{ Ом}$$

4.2.4 Вибирається тип заземлюючого пристрою, виносний на підставі даних про об'єкт, що захищається, і значень  $R_{ш}$ ,  $\rho$ .

4.2.5. Вибираються електроди стрижневі і попередньо розміщують їх на плані об'єкта, що захищається ( Рисунок 4.1)

Як вертикальні заземлювачі варто використовувати сталеві стрижні діаметром 10 мм, довжиною 5 м. Верхній кінець вертикального заземлювача повинен бути занурений на 0,7 м від поверхні землі. Як горизонтальні заземлювачі варто використовувати круглу сталь діаметром 10 мм.

4.2.6 Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту для однорідного ґрунту;

$$\rho_{роз} = \rho_{вим} \cdot \Psi, \text{ Ом}\cdot\text{м} \quad (4.3)$$

де  $\rho_{вим}$  - питомий опір ґрунту,  $\rho_{вим} = 1,5 \cdot 10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;

$\Psi$  - кліматичний коефіцієнт,  $\Psi = 1,5$ .

$$\rho_{роз} = 150 \cdot 1.5 = 225, \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

4.2.7 Визначаю опір одиночного вертикального заземлювача;

$$R_B = \frac{\rho_{роз}}{2\pi l} \cdot \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_0+1}{5t_0-1} \right), \text{ Ом} \quad (4.4)$$



де  $t_0=0.7$  м – мінімальна відстань від землі до вертикального електрода;

$l$  – довжина вертикального заземлювача,  $l= 5$  м;

$d$  – діаметр вертикального заземлювача,  $d = 0.01$  м.

$$R_B = \frac{225}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \ln \left( 2 \cdot \frac{2 \cdot 5}{0,01} + \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 0,7 + 5}{5 \cdot 0,7 - 5} \right) = 54,437, \text{ Ом}$$

Визначаємо опір горизонтального електрода;

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\text{роз}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2}{d \cdot t}, \text{ Ом} \quad (4.4)$$

де  $t=0.7$  м – мінімальна відстань від землі до вертикального електрода;

$l$  – довжина вертикального заземлювача,  $l= 25$  м;

$d$  – діаметр вертикального заземлювача,  $d = 0.01$  м.

$$R_\Gamma = \frac{225}{2 \cdot 3,14 \cdot 25} \cdot \ln \frac{25^2}{0,01 \cdot 0,7} = 11,7 \text{ Ом}$$

Тоді розрахунковий опір заземлювача буде визначений за формулою;

$$R = \frac{R_B R_\Gamma}{R_B \eta_\Gamma + R_\Gamma \eta_B \cdot n}, \text{ Ом} \quad (4.5)$$

де  $\eta_\Gamma = 0.75$  – Коефіцієнт використання горизонтального смугового електрода;

$\eta_B = 0.81$  – Коефіцієнт використання вертикального смугового електрода;

$$R = \frac{54.437 \cdot 11.7}{54.437 \cdot 0.75 + 11.7 \cdot 0.81 \cdot 9} = 5.053, \text{ Ом}$$

Отримане значення опору порівнюється з необхідним опором штучного заземлювача, визначеним за формулою (4.2). Значення майже збігаються, що є задовільним результатом розрахунків.

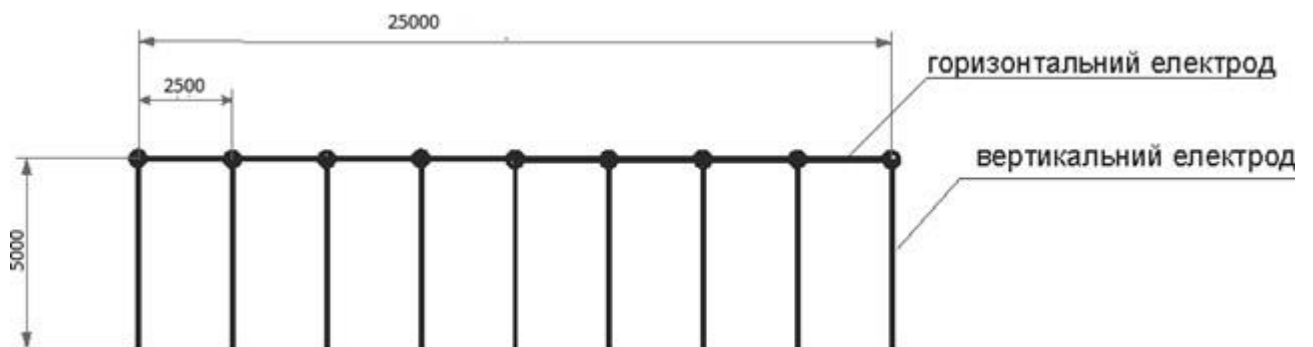


Рис.4.1 – План заземлюючого пристрою

## 5. ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

## 5.1 Вступ

Метою даного дипломного проекту є впровадження засобів автоматизації, за для зменшення споживання електроенергії шляхом встановлення плавного пуску та регулювання швидкості для асинхронного двигуна електроприводу роликового конвеєра. Для забезпечення плавного пуску та регулювання швидкості використовується частотний перетворювач типу Schneider Electric Altivar 71. Також для зменшення механічних втрат та підвищеної точності передачі був вибраний редуктор типу ЦУ-100.

В економічній частині дипломного проекту розраховано капітальні та експлуатаційні витрати на здійснення проекту та економію від впровадження засобів автоматизації.

## 5.2 Розрахунок капітальних інвестицій

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати визначаються за формулою;

$$K_{\Pi} = \sum_i^k C_i + Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{м(н)}} + Z_{\text{інші}}, \text{ грн} \quad (5.1)$$

де  $C_i$  – вартість обладнання 4 групи ОВФ, грн;

$k$  – кількість обладнання  $k=3$ ,  $i=1$ .

$Z_{\text{тзс}}$  – витрати пов'язані з транспортно-заготівельними роботами, грн;

$Z_{\text{м(н)}}$  – витрати на монтаж та наладку обладнання, грн;

$Z_{\text{інші}}$  – інші витрати, грн.

Транспортування буде відбуватися за допомогою компанії NovaPoshta, вартість за доставку обладнання була взята на сайті – <https://novaposhta.ua> .

Витрати на доставку знаходимо по формулі;

$$Z_{\text{тзс}} = S \cdot m \cdot G, \text{ грн} \quad (5.2)$$

де  $S$  – відстань, на яку потрібно доставити обладнання,  $S = 476.3$  км.

$m$  – вага електричного обладнання, для двигуна частотного перетворювача та редуктора становить 102.5 кг, дані взяті з паспортних даних обладнання.

$G$  – габарити вантажа, який потрібно доставити,  $G = 0.569$  м<sup>3</sup>, дані про розмір обладнання також взяті з паспортних даних.

$$Z_{\text{тзс}} = 476.3 \cdot 102.5 \cdot 0.569 = 2777.9, \text{ грн}$$

Витрати на монтаж та наладку обладнання визначаються за формулою;

$$Z_{\text{м(н)}} = T_{\text{ч}} \cdot t_{\text{м}} \cdot Ч_{\text{п}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{есв}}, \text{ грн} \quad (5.3)$$

де  $T_{\text{ч}}$  – тарифна ставка, становить 33.88 грн/год для працівника за монтажно-налагоджувальні роботи станом на 2019 рік згідно з ЄТС;

$k_{\text{д}}$  – коефіцієнт доплати робітнику дорівнює  $k_{\text{д}} = 1.27$ , оговорюється під час вкладання договору про роботу;

$k_{\text{есв}}$  – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок  $k_{\text{есв}} = 1.22$ , згідно з даними Закону України станом на 2019 рік;

$t_{\text{м}}$  – кількість годин, потрібних для виконання монтажу та наладки,  $t_{\text{м}} = 8$  згідно з нормами обслуговування виконуваних робіт.

$Ч_{\text{п}}$  – кількість працівників, що потрібна для виконання монтажу і наладки обладнання  $Ч_{\text{п}} = 4$ , згідно з нормами обслуговування виконуваних робіт.

$$Z_{\text{м(н)}} = 33.88 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 1.27 \cdot 1.22 = 1679.79, \text{ грн}$$

Витрати на покупку обладнання зведені в таблиці 5.1. Та взяті згідно;

ООО «Системакс» з сайту <https://systemax.ua> .

Компанія Schneider Electric з сайту <https://www.se.com> .

Компанія «Сдм-групп» з сайту <https://sdm-group.com.ua> .

Станом на 11.06.2019 рік.

Таблиця 5.1

Зведення капітальних інвестицій, грн.

№ п/п	Найменування електрообладнання	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
1	Асинхронний двигун типу АІР132S8	1	6072	6072
2	Перетворювач частоти АТV71	1	40760	40760
3	Редуктор типу ІЦУ-100	1	5600	5600
	УСЬОГО			52432
4	Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи			1679.79
5	Витрати транспортно-заготівельні			2777.9
	РАЗОМ:			56889.69

Повні капітальні витрати становлять:

$$K_{\text{п}} = 52432 + 1679.79 + 2777.9 = 56889.69, \text{ грн}$$

### 5.3. Розрахунок експлуатаційних витрат

**Експлуатаційні витрати** – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за визначений період (наприклад, рік), що виражені у грошовій формі.

Річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування знаходяться по формулі:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_{пр} + C_e + C_{ін}, \text{ грн} \quad (5.4)$$

де  $C_a$  – амортизаційні відрахування, грн.

$C_z$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.

$C_c$  - Єдиний соціальний внесок, грн.

$C_{пр}$  - Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж, грн.

$C_e$  - Вартість втрат електроенергії, грн.

$C_{ін}$  - Інші витрати, грн.

### 5.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом знаходяться за формулою:

$$AO = \frac{\Phi_{п} \cdot N_a}{100\%}, \text{ грн} \quad (5.5)$$

де  $\Phi_a$  – амортизаційна вартість, грн.

$N_a$  – норма амортизації, %.

Амортизаційну вартість знаходимо за формулою:

$$\Phi_a = \Phi_{п} - Л, \text{ грн} \quad (5.6)$$

де  $\Phi_{п}$  – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$  – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів. Оскільки, електрообладнання планується амортизуватися повністю, ліквідаційна вартість дорівнюватиме 0.

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$N_a = \frac{\Phi_{п} - Л}{\Phi_{п} \cdot T_{п}} \cdot 100\% = \frac{1}{T_{п}} \cdot 100\%, \% \quad (5.7)$$

де  $T_{п}$  – термін корисного використання (амортизаційний період), для вибраного обладнання, що відноситься до 4 групи ОВФ та дорівнює  $T_{п}=5$  років, згідно таблиці 4.2[5].

Визначаємо амортизаційну вартість;

$$\Phi_a = 56889.69 - 0 = 56889.69, \text{ грн}$$

Знаходимо норму амортизації;

$$N_a = \frac{56889.69 - 0}{56889.69 \cdot 5} \cdot 100\% = 20, \%$$

Таким чином амортизаційні відрахування АО дорівнюють;

$$AO = \frac{56889.69 \cdot 20\%}{100\%} = 11377.93, \text{ грн}$$

### 5.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Основна заробітна плата працівників – це винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки).

Фонд заробітної плати буде однаковий, як за проєктованими даними так і за базовими, тому фонд заробітної плати у подальших розрахунках не враховується.

### 5.3.3 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок визначається на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати, так як заробітна плата не розраховувалась – то і єдиний соціальний внесок також не визначається.



5.3.4. Витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного устаткування і мереж включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтникам і визначаються укрупнено у відсотках до капітальних витрат :

- електрообладнання – 1%.

Річні витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування становлять:

$$C_{\text{пр}} = K_{\text{п}} \cdot 0.01, \text{ грн} \quad (5.8)$$

$$C_{\text{пр}} = 56889.69 \cdot 0.01 = 568.89, \text{ грн}$$

5.3.5 Розрахунок вартості споживання електроенергії об'єктом проектування

Вартість спожитої електроенергії об'єктом проектування протягом року визначається за формулою :

$$C_{\text{э}} = W_{\text{р}} \cdot C_{\text{е}}, \text{ грн} \quad (5.9)$$

де  $W_{\text{р}}$  – річні споживання електроенергії, кВт·годин;

$C_{\text{е}} = 1.68$ , грн./кВт·годин, – тариф на електроенергію, згідно з даними для підприємств II типу станом на 2019 рік з ПДВ.

Річні споживання електроенергії  $W_{\text{р}}$  визначаються:

$$W_{\text{р}} = P_{\text{дв}} \cdot \text{Ч}_{\text{год}} \cdot \text{Д}_{\text{днів}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (5.10)$$

де  $P_{\text{дв}}$  – потужність двигуна, кВт.

$\text{Ч}_{\text{год}}$  – кількість робочих годин за зміну.

$\text{Д}_{\text{днів}}$  – кількість робочих днів за рік.

Для проектного варіанту кількість спожитої електроенергії буде становити;

$$W_p = 2.8 \cdot 12 \cdot 365 = 12264, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для базового варіанту кількість спожитої електроенергії буде становити;

$$W_p = 4.0 \cdot 12 \cdot 365 = 17520, \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість спожитої електроенергії об'єктом для проектного варіанту буде становити:

$$C_{еп} = 12264 \cdot 1.68 = 20603.52, \text{ грн}$$

Вартість спожитої електроенергії об'єктом для базового варіанту буде становити:

$$C_{еб} = 17520 \cdot 1.68 = 29433.6, \text{ грн}$$

### 5.3.6. Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати на охорону праці, на спецодяг тощо. Відповідно до практики ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

Так як фонд заробітної плати не розраховується – то і інші витрати не визначаються.

Після розрахунку всіх складових експлуатаційних витрат ми можемо визначити річні експлуатаційні витрати по об'єкту для проектного;

$$C = 11377.93 + 568.89 + 20603.52 = 32550.34, \text{ грн}$$

#### 5.4. Визначення річної економії від впровадження об'єкту проектування

Повна річна економія від впровадження варіанту визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту та витратами на електроенергію за базовим варіантом.

$$E = C_{e6} - C \quad (5.11)$$

$$E = 29433.6 - 32550.34 = -3116.74, \text{ грн}$$

#### Висновки

В даному розділі дипломного проекту було визначено капітальні втрати, які становлять  $K_{п} = 56889.69$ , грн. Були визначені експлуатаційні витрати, які становлять  $C = 32476.71$ , грн, витрати на електричну енергію за базовим варіантом  $C_{e6} = 29433.6$ , грн та проектним варіантом  $C_{еп} = 20603.52$ , грн. Та річна економія, що становить  $E = -3116.74$ , грн.

## **Висновки**

В даному дипломному проєкті був розроблений частотно-регульований асинхронний електропривод механізму приводного роликового конвеєра.

В процесі проектування були вивчені питання призначення приводного роликового конвеєра, його характеристики, схеми кінематики та електрична принципова. На основі даних було розраховане навантаження та вибраний асинхронний двигун типу AIP132S8 потужністю 4.0 кВт та частотний перетворювач Schneider Electric Altivar 71.

За допомогою програми Matlab на основі математичної моделі в нерухомій двофазній системі координат була розроблена частотно-регульована модель електропривода, яка включає задатчик інтенсивності.

З використанням моделі були проведені дослідження електроприводу, в результаті дослідів було встановлено, що в двигуна регулюється швидкість за допомогою скалярного керування без зворотного зв'язку.

В розділі «Охорона праці» були сформовані вимоги що до використання приводного роликового конвеєра, вибраний та розрахований заземлюючий пристрій.

Був проведений розрахунок та аналіз техніко-економічних показників, а також визначений річний економічний ефект від впровадження засобів автоматизації. Даний привод споживає значно менше електричної енергії та потребує менших затрат на поточний ремонт та технічне обслуговування, що дає економію при його використанні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузьмин А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин. Справочник. Минск. Высш. школа, 1983г. - 350с.
2. Л.В.Курмаз, А.Т.Скойбеда Детали машин. Проектирование: Справочное учебно-методическое пособие. 2005г. – 309ст.
3. Пертен Ю.А. Конвейеры. Справочник. Систематизированы основные сведения по проектированию конвейеров. Изд. Машиностроение, 1984г.
4. Спиваковский А.В. Транспортирующие машины. Уч. пособие для машиностроительных вузов. Рассмотрены конструкции и расчет основных типов транспортирующих машин непрерывного действия: конвейеров, эскалаторов, элеваторов и др.изд. Машиностроение, 1983г.
5. Методичні рекомендації до виконання розділу “Техніко-економічне обґрунтування” дипломного проекту бакалавра напряму підготовки 6.050702 “Електромеханіка” /Укл.: Тимошенко Л.В. – Дніпропетровськ: НГУ, 2012. – 12 с.
6. Справочник по электрическим машинам: В 2-х т./ Под общ. ред. И.П.Копылова и Б.К.Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. т.1 – 655 с.; т.2 – 495 с.
7. Altivar 71. Преобразователи частоты: Каталог DIA2ED2050104UA. – К. Schneider Electric, 2009. – 334 с.
8. Altivar 71. Преобразователи частоты для асинхронных двигателей: Руководство по программированию. – К. Schneider Electric, 2007. – 286 с.
9. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине “Автоматизированный электропривод промышленных установок в машиностроении и металлургии”/ Сост.: Н.Н.Казачковский. – Днепропетровск: ДГИ, 1992. – 71 с.

10. Бешта О.С., Балахонцев О.В., Бородай В.А. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві: Навч. посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2011. – 182 с.

11. <http://elprivod.nmu.org.ua/ua/>
12. <https://systemax.ua/elektrodvigateli>
13. <https://sdm-group.com.ua>
14. [www.se.com/ua](http://www.se.com/ua)

## Програма розрахунку потужності привідного двигуна

## Вхідні матеріали

+	$m := 200$	кГ, маса контейнера;
	$v := 0.5$	м/с, швидкість контейнера;
	$l := 1.8$	м, довжина контейнера;
	$l_{\text{шир}} := 0.6$	м, ширина контейнера;
	$Z := 250$	шт./год, продуктивність конвейєра;
	$L := 30$	м, довжина конвеєра;

Умови роботи: середні

## Розрахунок роликів конвеєра

	$Q := m \cdot Z \cdot 10^{-3}$	т/ч, продуктивність конвеєра з формули (14.2);	$Q = 50$
	$t_r := \frac{3.6 \cdot v \cdot m}{Q}$	м, відстань між грузами із формули (14.1);	$t_r = 7.2$
	$\beta := 2$	із табл. 14.1 вибираємо кут нахилу конвеєра;	
	$l_{\text{шаг}} := 1 \cdot 0.45$	м, шаг роликів не повинен перевищувати 0,45 довжини груза, приймається по таблиці ( параграф 14.2) і дорівнює	$l_{\text{шаг}} = 0.81$
	$t_p := 0.63$		
	$l_{\text{шир}} := l_{\text{шир}} + 0.05$	м, ширина конвеєра(довжина роликів) приймається (див. параграф 14.2) на 50...100 мм більше ширини груза. Приймаємо ширину $t_{\text{шир}}=650\text{мм}$ ;	$l_{\text{шир}} = 0.65$
	$z_1 := \text{ceil}\left(\frac{1.8}{t_p}\right)$	число роликів, на яких лежить груз, по формулі (14.5), округлюємо до найближчого більшого цілого числа;	$z_1 = 3$
	$F_p := 0.5 \cdot m \cdot 9.81$	Н, середнє навантаження на один ролик (табл 14.3);	$F_p = 981$
	$D := 0.06$	м, діаметр необробленого ролика, при нарузці на один ролик, 981Н та довжині ролика 650 мм, вибирається з таблиці 14.2;	

$R_{\omega} := 0.03$	м, радіус необробленого ролика;	
$m_p := 4.8$	кг, маса одного ролика з табл. 14.4;	
$d := 0.012$	м, діаметр цапфи ролика приймається $d=(0.2...0.25)*60=12...15$ мм. Приймаємо $d=12$ мм;	
$z_p := \text{ceil}\left(\frac{L}{t_p}\right)$	число роликів в конвеєрі, округлюємо до найближчого більшого цілого числа;	$z_p = 48$
$\mu := 5 \cdot 10^{-4}$	м, коефіцієнт тертя котіння груза по роликам (пояснення в табл 14.4);	
$f_{\text{ц}} := 0.04$	коефіцієнт тертя в цапфах роликів приймаєм для середніх умов роботи (таблиця 14.5);	
$z_0 := \frac{Z \cdot L}{(3600 \cdot v)}$	число вантажів, які одночасно знаходяться на конвеєрі;	$z_0 = 4.167$
$\cos\beta := 0.99$ $\sin\beta := 0.034$	Н, опір руху всіх вантажів на приводному конвеєрі;	
$F_{\text{пр}} := m \cdot 9.81 \cdot z_0 \cdot \left[ \left( \frac{2 \cdot \mu}{D} + \frac{f_{\text{ц}} \cdot d}{D} \right) \cdot \cos\beta + \sin\beta \right] + m_p \cdot 9.81 \cdot z_p \cdot \frac{f_{\text{ц}} \cdot d}{D}$		$F_{\text{пр}} = 495.665$
$\eta := 0.97$	ККД передач від двигуна до роликів;	
$P := \frac{F_{\text{пр}} \cdot v}{10^3 \cdot \eta}$	кВт, потужність на вхідному валу конвеєра;	$P = 0.255$
$k_1 := 1.2$	коефіцієнт нерівномірності розподілу вантажа на ролики $k_1=1.15...1.2$ ;	
$T_1 := \left( \frac{k_1 \cdot m}{z_1} + m_p \right) \cdot 9.81 \cdot \frac{f_{\text{ц}} \cdot d}{2}$	Н*м, найбільший крутний момент, що передається на один ролик приводного конвеєра;	$T_1 = 0.2$
$J_{\omega} := m \cdot R^2 \cdot z_p$	кг*м <sup>2</sup> , розрахунковий момент інерції двигуна;	$J = 8.64$



### Вхідні матеріали

На основі цих розрахунків, був вибраний редуктор;

Тип редуктора	Вага, кг	ККД, %	Номинальне радіальне консольне навантаження, прикладене в середині посадкової частини валу, Н	Номинальний крутний момент на вихідному валу, Тном,	передатне число
1ЦУ 100	27	0,97	Вхідне: 630	315	4
			Вихідне: 2240		

$i := 4$  передатне число редуктора;

$\eta := 0.97$  ККД редуктора;

$J_{dv} := 0.009$  кг\*м<sup>2</sup>, момент інерції двигуна;

$n := 750$  об/хв, номінальна швидкість обератння двигуна

### Вибір двигуна

Для вибору двигуна ми вибираємо редуктор з закритою циліндричною прямозубою передачею

$n_{dv} := \frac{60 \cdot i \cdot v}{(\pi \cdot D)}$  об/хв, швидкість двигуна, який буде обертати ролики, якщо нам відома швидкість руху груза по конвеєру;  $n_{dv} = 636.62$

$M_c := \frac{T1 \cdot \eta}{i}$  Нм, приведений момент навантаження на валу двигуна, до моменту навантаження на роликах конвеєра;  $M_c = 0.048$

$j := J_{dv} + \frac{J}{i^2}$  кг\*м<sup>2</sup>, проиводимо момент інерції двигуна до моменту інерції на роликах конвеєра;  $j = 0.549$

$P_{dv} := \frac{\pi \cdot n \cdot M_c}{30}$  потужність на валу двигуна, якщо нам відомі його момент та номінальна швидкість; кВт.  $P_{dv} = 3.803$

Враховуючи всі попередні розрахунки, був вибраний двигун:

Типорозмір двигуна	Потужність	Частота обертання умовна (фактична)	Напруга	Сила струму	ККД	Коефіцієнт потужності	Співвідношення крутних моментів		Співвідношення струмів	Момент інерції	Рівень шуму	Вага
							Мп/Мн	Ммах/Мн				
AIP13258	P, кВт	n, об/хв	U, В	I, А	$\eta$ , %	cos $\phi$	1,9	2	6	J, кг*м <sup>2</sup>	L, дБ(А)	m, кг
	4	750(720)	380/660	10,3	81	0,73				0,069	68	70

### Вхідні матеріали

$R_v := 0.012$  внутрішній радіус дисків;

$R_n := 0.05$  зовнішній радіус дисків;  
 $z_n := 6$  число пар поверхонь тертя;  
 $f := 0.1$  коефіцієнт тертя між дисками (табл. 1.41);  
 $T_T := 0.0004 \cdot T_1$  Гальмівне зусилья в долях від зусилля на валу двигуна, Н

$T_T = 0.0000799$  Вибір тормозного елемента

$R_c := \frac{(R_v + R_n)}{2}$  м, середній радіус поверхні тертя;  $R_c = 0.031$

$F_a := \frac{T_T}{z_n \cdot f \cdot R_c}$  Н, осьове зусилля, що створює тормозний момент  $T_T$ ;  $F_a = 0.0042936$

$p := \frac{F_a}{\pi(R_n^2 - R_v^2)}$  тиск (МПа) на поверхню тертя, при цьому повинна виконуватися умова  $p \leq [p]$ , де  $[p := 0.6]$  вибирається з табл. 1.41  $p = 0.58$

#### Перевірка на перевантаження

$n_n := 750$  паспортна швидкість, об/хвил  
 $P_n := 4.0$  кВт, номінальна потужність двигуна, відповідно до паспортних даних двигуна;  
 $M_n := 9550 \cdot \frac{P_n}{n_n}$  Номінальний момент із даних паспортних даних двигуна  $M_n = 50.933$   
 $M_{max} := 2 \cdot M_n$  відношення максимального моменту до номінального, відповідно до паспортних даних двигуна;

$M_{прип} := 0.8 \cdot M_{max}$   $M_{прип} = 81.493$  Величина припустимого моменту

$M_c = 0.048$  Припустимий момент більше максимального момента навантаження на валу двигуна, що задовільняє умові перевірки по перевантаженню

#### Вхідні дані

$\eta_n := 0.81$  ККД двигуна, відповідно до паспортних даних;  
 $\cos \varphi := 0.73$  коефіцієнт потужності, відповідно до паспортних даних;  
 $U_{нс} := 380$  напруга мережі живлення;

### Вибір комплектного електроприводу

$$P_1 := \frac{P_n}{\eta_n} \quad \text{кВт, активна потужність двигуна;} \quad P_1 = 4.938$$

$$I_{сн} := \frac{P_1 \cdot 1000}{(3 \cdot U_{нс} \cdot \cos\varphi)} \quad \text{А, активна сила струму двигуна;} \quad I_{сн} = 5.934$$

## Розрахунок параметрів моделі

### Асинхронний двигун АІР132S8

$P_H \equiv 4000$	Активна потужність, Вт
$U_H \equiv 380$	Номінальна напруга живлення, В
$n \equiv 750$	Частота обертання валу двигуна, об/хвил
$J \equiv 0.0549$	Момент інерції, Нм <sup>2</sup>
$\eta \equiv 0.81$	Коефіцієнт корисної дії вигуна
$\cos\phi_H \equiv 0.73$	Коефіцієнт потужності
$s_H \equiv 0.15$	Номінальне ковзання
$f_1 \equiv 50$	Частота мережі живлення, Гц
$\lambda \equiv 2.2$	Перегрузочная способность
$i \equiv 4$	Передатне число редуктора
$n_{\text{мех}} \equiv 187$	Частота обертання валу механізму, об/хвил
$P_0 \equiv 3.803$	Активна потужність на валу механізму, Вт
$\eta_p \equiv 0.97$	Коефіцієнт корисної дії редуктора

#### Параметри схеми заміщення двигуна

$r_1 \equiv 0.068$	Активний та реактивний опір фази статора, в.о.
$x_1 \equiv 0.10$	
$r_2 \equiv 0.058$	Активний та реактивний опір фази ротора, в.о.
$x_2 \equiv 0.17$	
$x_\mu \equiv 1.6$	Реактивний опір ланцюга намагнічування, в.о.

#### Визначення базових величин

$$I_H \equiv \frac{P_H}{3 \cdot U_H \cdot \eta \cdot \cos\phi_H} \quad I_H = 5.934 \quad \text{Базовий струм, А}$$

$$Z \equiv \frac{U_H}{I_H} \quad Z = 64.038 \quad \text{Базовий опір, Ом}$$

$$M_H \equiv \frac{9.55 \cdot P_H}{n \cdot (1 - s_H)} \quad M_H = 59.922 \quad \text{Базовий момент, Нм}$$

$$p_{\Pi} \equiv \frac{60 \cdot f_1}{n} \quad p_{\Pi} = 4 \quad \text{Кількість пар полюсів}$$

$$\omega_H \equiv \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \omega_H = 78.54 \quad \text{номінальна кутова швидкість, с-1}$$

### Визначення реальних опорів схеми заміщення

$$R_1 \equiv r_1 \cdot Z \quad R_1 = 4.355$$

Активний та реактивний опір фази статора, Ом.

$$X_1 \equiv x_1 \cdot Z \quad X_1 = 6.404$$

$$R_2 \equiv r_2 \cdot Z \quad R_2 = 3.714$$

Активний та реактивний опір фази ротора, Ом.

$$X_2 \equiv x_2 \cdot Z \quad X_2 = 10.886$$

$$X_{\mu} \equiv x_{\mu} \cdot Z \quad X_{\mu} = 102.46$$

### Визначення параметрів обмоток двигуна

$$L_1 \equiv \frac{X_1 + X_{\mu}}{\omega_H \cdot p_{\Pi}} \quad L_1 = 0.347$$

Індуктивність фази статора, Гн.

$$L_2 \equiv \frac{X_2 + X_{\mu}}{\omega_H \cdot p_{\Pi}} \quad L_2 = 0.361$$

Індуктивність фази ротора, Гн.

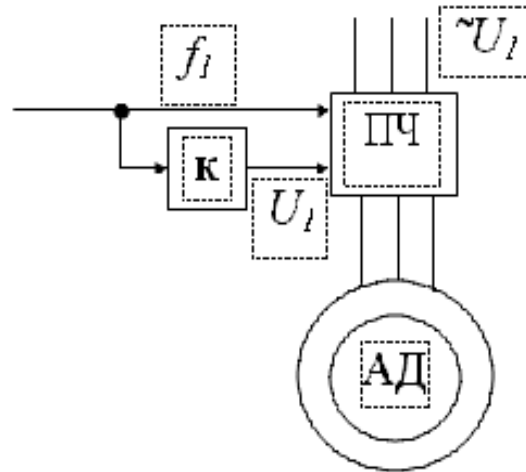
$$L_m \equiv \frac{X_{\mu}}{\omega_H \cdot p_{\Pi}} \quad L_m = 0.3261418$$

Взаємна індуктивність фази статора і ротора, Гн.

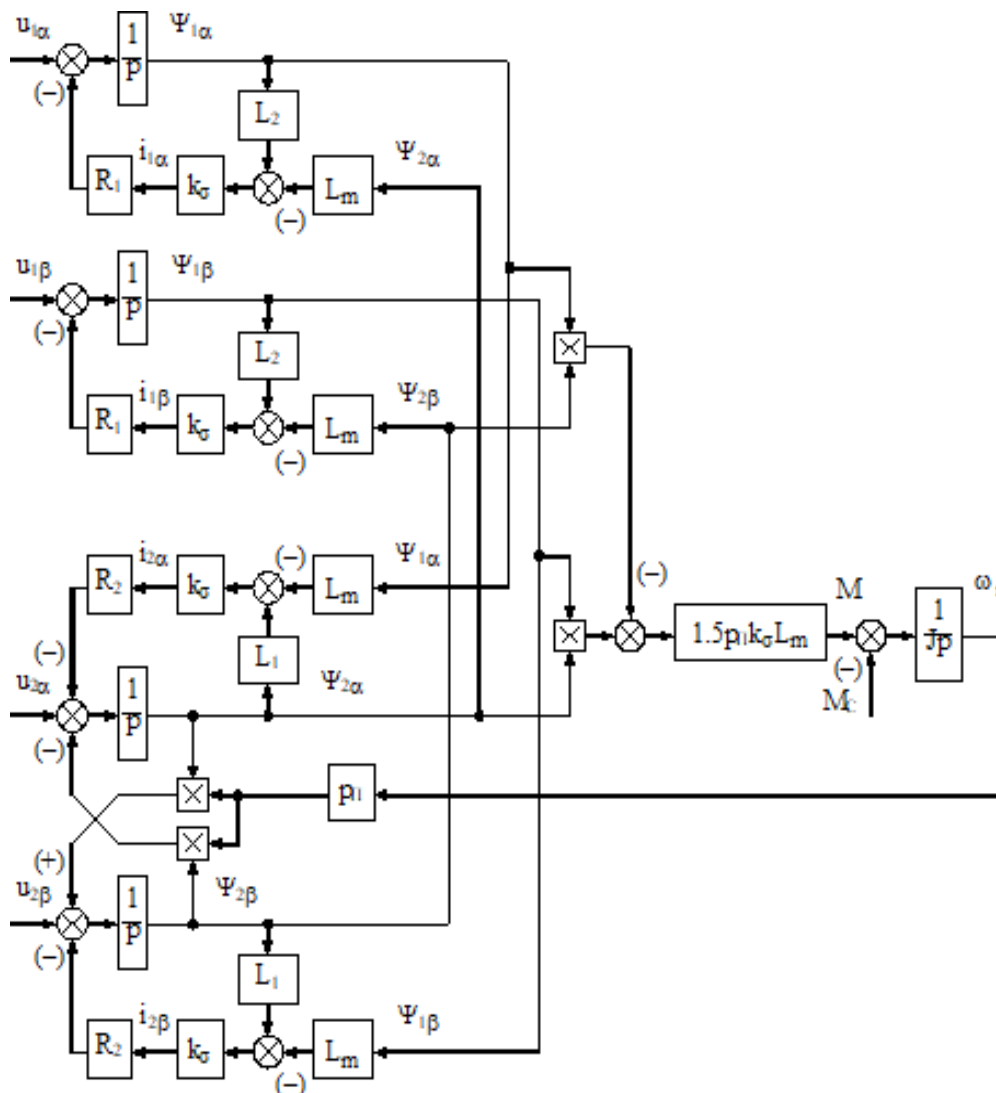
$$k_{\sigma} \equiv \frac{1}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2} \quad k_{\sigma} = 53.6019678$$

Допоміжний коефіцієнт, 1/Гн<sup>2</sup>

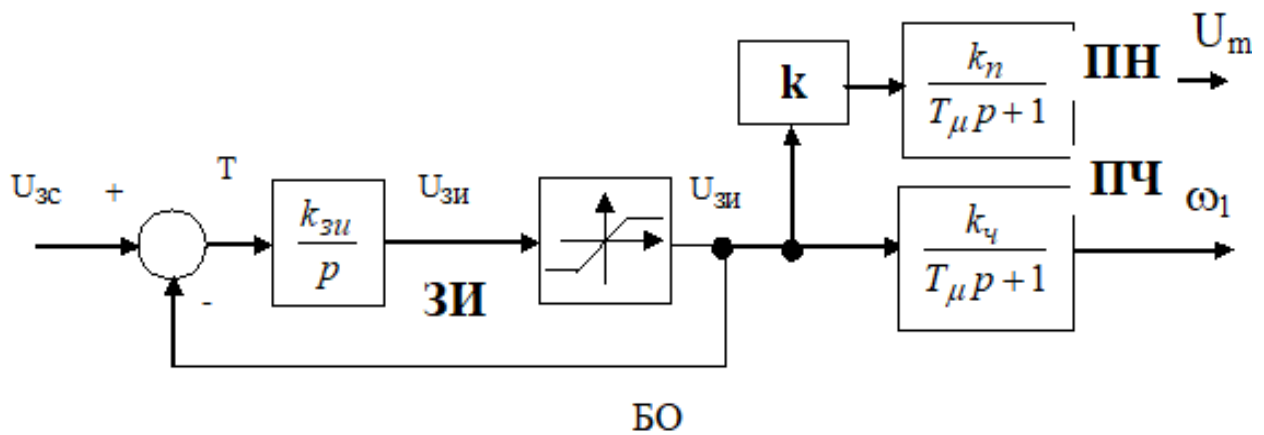
## Функціональна схема електропривода



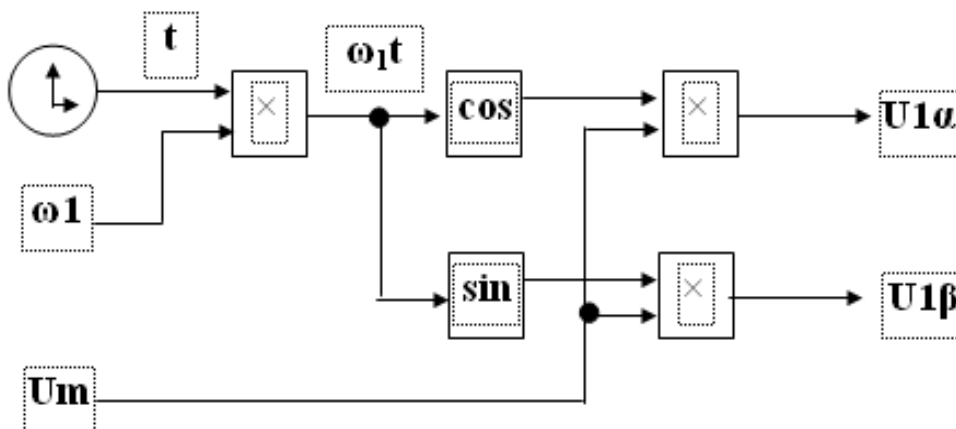
Структурна схема динамічної моделі двигуна у не рухомій системі координат



### Розрахунок системи керування без зворотних зв'язків



### Схема джерела



### Розрахунок коефіцієнта підсилення задавача інтенсивності ЗИ

$$T \equiv J \cdot \frac{\omega_H \cdot P_{\Pi}}{M_H} \quad T = 0.288 \quad \text{Час прискорення до номінальної швидкості при номінальному прискоренні } c$$

$$U_{зш} \equiv 10 \quad \text{Завдання на швидкість, В}$$

Для блоку обмеження передбачено встановка напруг  $\pm 10$  В

$$k_{зи} \equiv \frac{U_{зш}}{T} \quad k_{зи} = 34.742 \quad +$$

### Розрахунок коефіцієнта підсилення відпрацювання закону регулювання

$$k \equiv \frac{U_H}{2 \cdot \pi \cdot f_1} \quad k = 1.21$$

### Розрахунок коефіцієнта підсилення перетворювача напруги

$$U_{ВХП} \equiv 10 \cdot k \quad U_{ВХП} = 12.096$$

$$k_{\Pi} \equiv \frac{U_H}{U_{ВХП}} \quad k_{\Pi} = 31.416$$

### Розрахунок коефіцієнта підсилення перетворювача частоти

$$U_{ВХЧ} \equiv 10$$

$$k_{\chi} \equiv \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{U_{ВХЧ}} \quad k_{\chi} = 31.416$$

### Визначення постійної часу перетворювачів, с

$$T_{\mu} \equiv 0.005$$

Зазвичай приймається за попередніми відомостями, с

### Розрахунок перевантажувальної здатності двигуна

$$M_{кр} \equiv M_H \cdot \lambda \quad M_{кр} = 131.827 \quad \text{Критичний момент двигуна, Нм}$$

$$M_{крпм} \equiv \frac{M_{кр} \cdot i}{\eta_p} \quad M_{крпм} = 543.6183546 \quad \text{Критичний момент двигуна приведений до валу механізму, Нм}$$

$$\omega_m \equiv \frac{\pi \cdot n_{мех}}{30} \quad \omega_m = 19.583 \quad \text{Швидкість обертання валу механізму, с-1}$$

$$M_{мех} \equiv \frac{P_0}{\omega_m} \quad M_{мех} = 0.1942031 \quad \text{Момент на валу механізму, с-1}$$

$$M_{крпм} \geq M_{мех} \quad \text{Умова виконується. Із чого витікає правильність вибору двигуна.}$$