

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ, ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ТА ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**ЧАСТОТНО-КЕРОВАНІЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗІ ПЕРЕТВОРЮВАЧА
ЧАСТОТИ ФІРМИ SIEMENS**

Бакалаврська кваліфікаційна робота

Здобувач:

Владислав КРИВОШЕЯ

гр. АЕК2022-1

Керівник:

Віталій КОЛОТІЛО

старш. к.т.н.

Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

імені О. М. Бекетова

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра електричного транспорту

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Автоматизовані електротехнічні комплекси нафтогазової галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТ

 Микола ХВОРОСТ
_____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Кривошея Владислав Михайлович

прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: Частотно-керований електропривод на базі перетворювача частоти фірми Siemens

керівник бакалаврської

кваліфікаційної роботи Колотіло Віталій Іванович, старш., к.т.н.

_____ (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом університету від 22.05.2026 №440-03

2. Строк подання студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи 15.06.2026.

3. Вихідні дані до бакалаврської роботи Матеріали переддипломної практики, статистичні дані щодо надійності та відмов транспортних засобів, літературні джерела з експлуатації, обслуговування та ремонту обладнання.

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

4.1. Стан питання (огляд, аналіз, оцінка)

Частотно-регульований електропривод.

- Способи регулювання частоти обертання АД.
- Використання частотно-регульованого електроприводу в технологічних процесах 13
- Перетворювач частоти MICROMASTER фірми SIMENS.
- Функціональна схема стенду та призначення термінальних клем.
- Опис терміналів управління ПЧ.
- Обслуговування із панеллю індикації статусу (SDP).
- Обслуговування базової (BOP) та розширеної панеллю приводу (AOP).
- Підключення гальмівного резистора.
- Принцип роботи перетворювача.

4.2. Розробка технічного завдання (вибір параметрів, розробка конструкції, структурної та електричної принципової схем, створення алгоритмів роботи тощо, розрахунок вузлів, метод розрахунку, алгоритм управління, програмне забезпечення)

- Асинхронний двигун АИР80А4.
- Тахогенератор постійного струму.
- Електромагнітне гальмо.
- Розрахунок потужності ЕМГ.
- Лабораторне обладнання.
- Принцип програмування частотного перетворювача.

4.3 Розрахункова частина (розрахунок вузлів, метод розрахунку, алгоритм управління, програмне забезпечення)

- Методика дослідження скалярного керування частотно-регульованого електроприводу за допомогою базової оперативної панелі «BOP»
- Скалярне керування частотно-регульованого асинхронного електроприводу через BOP-Link RS485 (з комп'ютера).


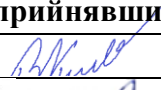




4.4. Охорона праці.

- Загальні питання.
- Заземлювальні пристрої.
- Захисні та робочі заземлення.
- Конструкція заземлювальних пристроїв.
- Заземлювальні пристрої тягових підстанцій.
- Розрахунок заземлювальних пристроїв.
- Розрахунок блискавкозахисту.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових слайдів)

1. Титульний.
2. Перелік графічного матеріалу.
3. Мета, задачі, актуальність роботи.
4. Характеристики асинхронного двигуна та споживання системи пч-ад
5. Перетворювачів частоти micromaster
6. Склад силової частини пч
7. Електричний двигун аир80а4
8. Датчики швидкості
9. Стенд дослідження пч
10. Елементи керування пч
11. Висновки.

6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи

Розділ	Ім'я Прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання бачив	завдання прийнявши
Основна частина	Віталій КОЛОТІЛО		
Антиплагіат	Вікторія ЛЕВЧЕНКО, інж.		
Нормоконтроль	В'ячеслав ШАВКУН, доц.		

7. Дата видачі завдання 16.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання	23.05 – 29.05.2026	
2	Розробка технічного завдання	30.05 – 05.06.2026	
3	Розрахункова частина	06.06 – 12.06.2026	
4	Охорона праці	06.06 – 12.06.2026	
5	Оформлення паперового та електронного варіантів роботи	06.06 – 12.06.2026	
6	Підготовка доповіді та презентації	12.06 – 20.06.2026	


Здобувач


(підпис)

Владислав КРИВОШЕЯ

(прізвище та ініціали)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи


(підпис)

Віталій КОЛОТІЛО

(прізвище та ініціали)

Анотація

Випускна кваліфікаційна робота «Частотно-керований електропривод на базі перетворювача частоти фірми SIEMENS » охоплює 98 сторінок текстового матеріалу, містить 68 ілюстрацій, 5 таблиць, 11 використаних джерел та 11 аркуші графічних матеріалів.

До складу системи входять такі основні компоненти: частотний перетворювач, асинхронний двигун типу АИР80А4, інкрементальний енкодер, електромагнітне гальмо, тахогенератор ТМГ-ЗОП.

Об'єктом розробки є лабораторний стенд, створений на базі частотного перетворювача, призначенням якого є забезпечення виконання студентами технічних спеціальностей лабораторних робіт. У рамках цієї роботи також були підготовлені методичні рекомендації для супроводу проведення таких лабораторних занять.

Метою виконання лабораторних робіт є:

- Формування навичок скалярного управління частотно-регульованим електроприводом із використанням базової оперативної панелі;
- Дослідження швидкісних та механічних характеристик асинхронного двигуна;
- Виконання параметрування та управління частотно-регульованим електроприводом за допомогою універсального послідовного інтерфейсу;
- Ознайомлення з обладнанням і його налаштуванням.

На основі результатів розробки лабораторного стенда було створено методичні матеріали для вивчення дисципліни «Електропривод».

Розроблений стенд дозволяє студентам перевірити свої теоретичні знання у галузі електромеханіки, а також засвоїти базові принципи програмування частотних перетворювачів Siemens.

Зміст

ВСТУП	7
1 СИСТЕМА ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ-АСИНХРОННИЙ ДВИГУН	8
1.1 Частотно-регульований електропривод.....	8
1.1.1. Способи регулювання частоти обертання АД.....	11
1.2 Використання частотно-регульованого електроприводу в технологічних процесах	13
1.3 Перетворювач частоти MICROMASTER фірми SIMENS	14
1.3.1 Основні характеристики перетворювача частоти MICROMASTER :.....	15
1.3.2 Особливості захисту	16
1.3.3 Функціональні особливості.....	16
1.4 Функціональна схема стенду та призначення термінальних клем	17
1.5 Опис терміналів управління ПЧ	20
1.5.1 Графічний термінал	20
1.6 Обслуговування із панеллю індикації статусу (SDP).....	20
1.7 Обслуговування базової (BOP) та розширеної панеллю приводу (AOP).....	22
1.8 Підключення гальмівного резистора.....	25
1.9 Принцип роботи перетворювача	25
2 ОБЛАДНАННЯ СТЕНДУ	33
2.1 Асинхронний двигун АИР80А4.....	33
2.1.1 Влаштування трифазних асинхронних двигунів	35
2.1.2 Принцип дії асинхронного двигуна	37
2.2.1 Інкрементальний датчик.....	40
2.3 Модуль датчика енкодера.....	43
2.4 Тахогенератор постійного струму	45

2.4.1 Принцип действия тахогенератора.....	46
2.5 Електромагнітне гальмо	49
2.5.1 Пристрій і принцип дії електромагнітного гальма	49
2.5.2 Розрахунок потужності ЕМТ	50
2.6 Лабораторне обладнання	52
2.7 Принцип програмування частотного перетворювача.....	55
3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА РОЗІМКНУТОЇ СИСТЕМИ	
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЧ-АД	58
3.1 Методика дослідження скалярного керування частотно-регульованого електроприводу за допомогою базової оперативної панелі «ВОР».....	58
3.1.1 Порядок роботи	58
3.1.2 Запуск частотно-регульованого електроприводу	60
3.2 Скалярне керування частотно-регульованого асинхронного електроприводу через ВОР-Link RS485 (з комп'ютера)	61
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	80
4.1 Загальні питання.....	80
4.2 Заземлювальні пристрої.....	81
4.2.1 Захисні та робочі заземлення	81
4.2.2 Конструкція заземлювальних пристроїв.	81
4.2.3 Заземлювальні пристрої тягових підстанцій.....	82
4.2.4 Розрахунок заземлювальних пристроїв	83
4.2.5 Розрахунок блискавкозахисту	86
4.2.6 Пожежна безпека у залі електродвигунів НПСО Ошибка! Закладка не определена	
ВИСНОВКИ.....	89
ПЕРЕЛІК ЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	90

ВСТУП

Розвиток технологій та високі вимоги до продуктивності й точності роботи різноманітних механізмів і технологічних установок зумовлюють все ширше впровадження регульованого електропривода, а також підвищення якості його характеристик.

Сфера застосування електричного привода у промисловості, транспорті та побуті постійно розширюється. На сьогодні понад 60 % усієї виробленої у світі електроенергії споживається електродвигунами. Відповідно, ефективність енергозберігаючих технологій значною мірою залежить від ефективності електропривода. Розробка продуктивних, компактних та економічних систем привода є одним із пріоритетних напрямків розвитку сучасної техніки.

Метою бакалаврської роботи є відновлення та модернізація стенда на базі перетворювача частоти для проведення лабораторних робіт студентами технічних закладів освіти. Крім того, передбачається розробка методичних рекомендацій для виконання лабораторних робіт студентами спеціальності «Електропривод і автоматика промислових установок та технологічних комплексів». Це дозволить ознайомитися з регулюванням швидкості електропривода, налаштуваннями системи та визначенням зовнішніх характеристик двигуна.

1 СИСТЕМА ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ-АСИНХРОННИЙ ДВИГУН

1.1 Частотно-регульований електропривод

Системи регулювання швидкості двигуна постійного струму (ДПС) достатньо прості, але слабким місцем такого електропривода є сам електродвигун. Він дорогий і недостатньо надійний. У процесі роботи виникає іскріння щіток, колектор зношується під дією електроерозії. Такий двигун має обмеження у використанні в запиленому та вибухонебезпечному середовищі. Частотний перетворювач у комплекті з асинхронним електродвигуном дозволяє замінити електропривод постійного струму.

Асинхронні електродвигуни (АД) переважають двигуни постійного струму (ДПС) за багатьма параметрами: вони прості за конструкцією та надійні, оскільки не мають рухомих контактів; мають менші розміри, масу та вартість у порівнянні з ДПС при тій самій потужності. Асинхронні двигуни простіші у виробництві та експлуатації.

Основним недоліком асинхронних електродвигунів є складність регулювання їхньої швидкості традиційними методами, такими як зміна напруги живлення або введення додаткових опорів у ланцюг обмоток.

Управління асинхронним електродвигуном у частотному режимі до недавнього часу було серйозною проблемою, хоча теорія частотного регулювання була розроблена ще у 30-х роках минулого століття. Розвиток частотно-регульованого електропривода стримувався високою вартістю перетворювачів частоти. Однак поява силових схем із IGBT-транзисторами, а також розробка високопродуктивних мікропроцесорних систем управління дозволили компаніям з Європи, США та Японії створити сучасні доступні за ціною перетворювачі частоти.

Відомо, що регулювання частоти обертання виконавчих механізмів може здійснюватися за допомогою різних пристроїв: механічних варіаторів, гідравлічних муфт, опорів, що вводяться до обмоток статора або ротора, електромеханічних та статичних перетворювачів частоти.

Використання перших чотирьох типів пристроїв не гарантує високої якості регулювання швидкості, неекономічне, потребує значних витрат на монтаж та експлуатацію.

Натомість статичні перетворювачі частоти сьогодні є найдосконалішими пристроями для управління асинхронним приводом. Принцип частотного методу регулювання швидкості асинхронного двигуна (АД) полягає в тому, що шляхом зміни частоти напруги живлення можна відповідно до формули (1.1) за незмінної кількості пар полюсів p змінювати кутову швидкість магнітного поля статора

$$M_{ном} = \frac{9,550 \cdot P}{n} \quad (1.1)$$

де ω_0 – кутова швидкість магнітного поля статора, $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 / p$;

π - 3,14;

f_1 - частота напруги живлення, Гц;

p – число пар полюсів.

Цей підхід забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні, при цьому механічні характеристики залишаються із високою жорсткістю.

Регулювання швидкості відбувається без збільшення ковзання асинхронного двигуна, що дозволяє знизити втрати потужності під час такого регулювання.

Для досягнення високих енергетичних показників асинхронного двигуна, таких як коефіцієнт потужності, ефективність і перевантажувальна здатність, необхідно одночасно з частотою змінювати також величину напруги, що подається.

Закон зміни напруги (зображено на рисунку 1) визначається характером моменту навантаження. При постійному моменті навантаження ($M_c = \text{const}$) напруга на статорі повинна змінюватися пропорційно частоті.

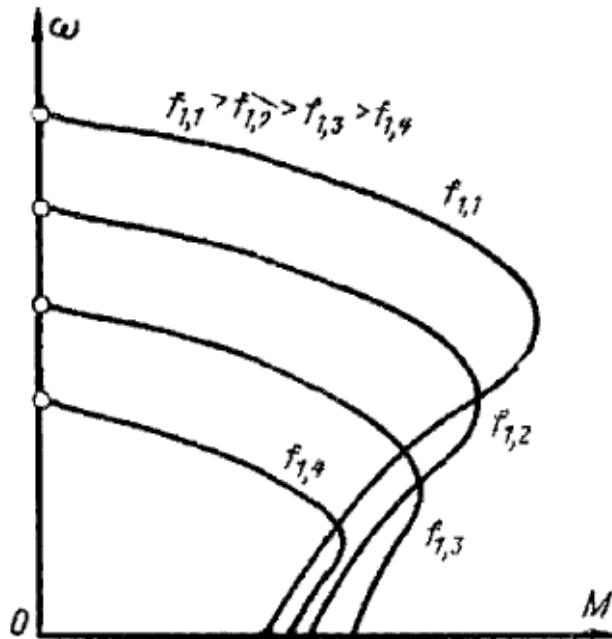


Рисунок 1 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному способі керування

$$\frac{U_1}{f_1} = const, \quad (1.2)$$

Для вентиляторної зміни навантаження цей закон має такий вигляд;

$$\frac{U_1}{f_1^2} = const, \quad (1.3)$$

Для навантаження яку його момент зворотно пропорційний швидкості, закон має вигляд:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f}} = const, \quad (1.4)$$

Таким чином, для плавного безступінчастого регулювання частоти обертання валу асинхронного електродвигуна, перетворювач частоти повинен забезпечувати одночасне регулювання частоти і напруги на обмотках АД.

При порівняно великих частотах, максимальний момент двигуна при зміні частоти постійний, якщо напруга змінюється пропорційно до частоти, тобто $U_1/f_1 = const$. При подальшому зниженні частоти максимум моменту двигуна знижується. Це відбувається як внаслідок зменшення потоку двигуна

через збільшення частки падіння напруги на R_s від загальної прикладеної напруги, так і зменшення абсолютного критичного ковзання, що призводить навіть при незмінному потоці до зменшення моменту внаслідок зменшення струму ротора.

Для підтримки достатньої перевантажувальної здатності у всьому діапазоні регулювання необхідно при малих частотах зменшувати напругу меншою мірою, ніж знижується частота.

1.1.1 Способи регулювання частоти обертання АД

Синхронна швидкість (швидкість поля) виражається формулою (1.5)

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p}, \quad (1.5)$$

де n_0 - синхронна швидкість (швидкість поля), об/хв.

Ковзання - величина, що характеризує відставання швидкості ротора від швидкості обертання поля статора. Його можна охарактеризувати виразом (1.6)

$$s = \frac{n_0 - n}{n}, \quad (1.6)$$

де n - швидкість обертання ротора, об/хв..

Поєднавши ці формули, отримуємо, що швидкість обертання ротора n рівна

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s), \quad (1.7)$$

Таким чином, регулювати частоту обертання ротора можна трьома способами:

- Зміною ковзання;
- Зміною числа пар полюсів;
- Зміною частоти живильного поля.

Потужність двигуна

$$P = M \cdot \omega. \quad (1.8)$$

M - момент двигуна, Н·м;

ω - швидкість обертання ротора, 1/с.

Видомо, що

$$M_{тек} = \left(\frac{U}{U_{ном}}\right)^2 \cdot M_{ном}, \quad (1.9)$$

Де $M_{ном}$ – номінальний момент двигуна;

$U_{ном}$ – номінальна напруга фази статорної обмотки.

Звідси випливає, що момент пропорційний квадрату напруги.

Номінальна електрична потужність АД

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \eta, \quad (1.10)$$

де P - номінальна електрична потужність двигуна, Вт;

I - струм фази статора двигуна, А;

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності;

η – коефіцієнт корисної дії.

Формула для розрахунку струму фази статора

$$I_n = \frac{M \cdot n}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta \cdot 9,550}, \quad (1.11)$$

Де I_n – номінальний струм статора, А.

Вибирати частотний перетворювач потрібно по струму, а не по потужності, виходячи з наступного співвідношення.

$$I_{перетворювача} > I_{двигуна}.$$

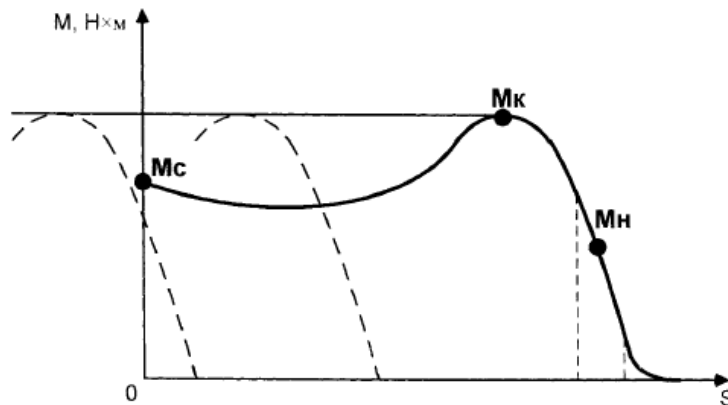


Рисунок 2 - Механічні характеристики при частотному керуванні: M_C – стартовий момент; M_n - номінальний момент; M_k – критичний момент

Стартовий момент M_c на низьких частотах знижується. Це необхідно враховувати при використанні перетворювачів частоти в механізмах підйому.

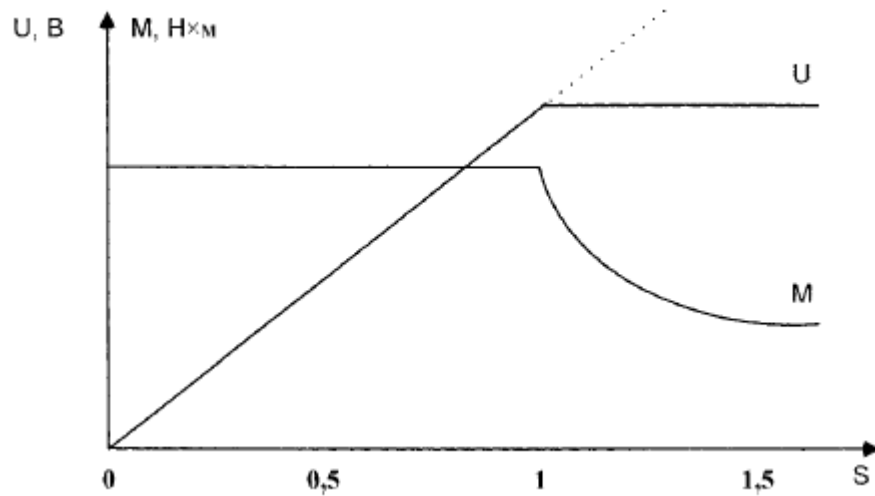


Рисунок 3 - Залежність моменту від частоти

1.2 Використання частотно-регульованого електроприводу в технологічних процесах

Застосування регульованого електропривода у технологічних процесах сприяє енергозбереженню та відкриває нові можливості для систем та обладнання. Значну економію електроенергії досягають завдяки регулюванню технологічного параметра. Наприклад, для транспортерів чи конвеєрів можна налаштувати швидкість руху, для насосів або вентиляторів — підтримувати потрібний рівень тиску або регулювати продуктивність. У випадку зі верстатами можливе плавне налаштування швидкості подачі чи основного руху.

Особливий економічний ефект від застосування перетворювачів частоти забезпечується завдяки частотному регулюванню на об'єктах, пов'язаних із транспортуванням рідин. Раніше найпоширенішим способом регулювання продуктивності таких об'єктів було використання засувки або регулювальних клапанів, але сьогодні дедалі доступнішим стає частотне регулювання

асинхронного двигуна, який приводить у дію, наприклад, робоче колесо насосного агрегата або вентилятора.

Ефективність частотного регулювання яскраво ілюструє схема на рисунку 4. Так, під час дроселювання потік речовини, який стримується засувкою чи клапаном, не виконує корисної роботи. Використання регульованого електропривода для насоса або вентилятора дає змогу встановити потрібний рівень тиску чи витрати речовини. Це не лише допомагає знизити енергоспоживання, але й мінімізує втрати транспортованої речовини.

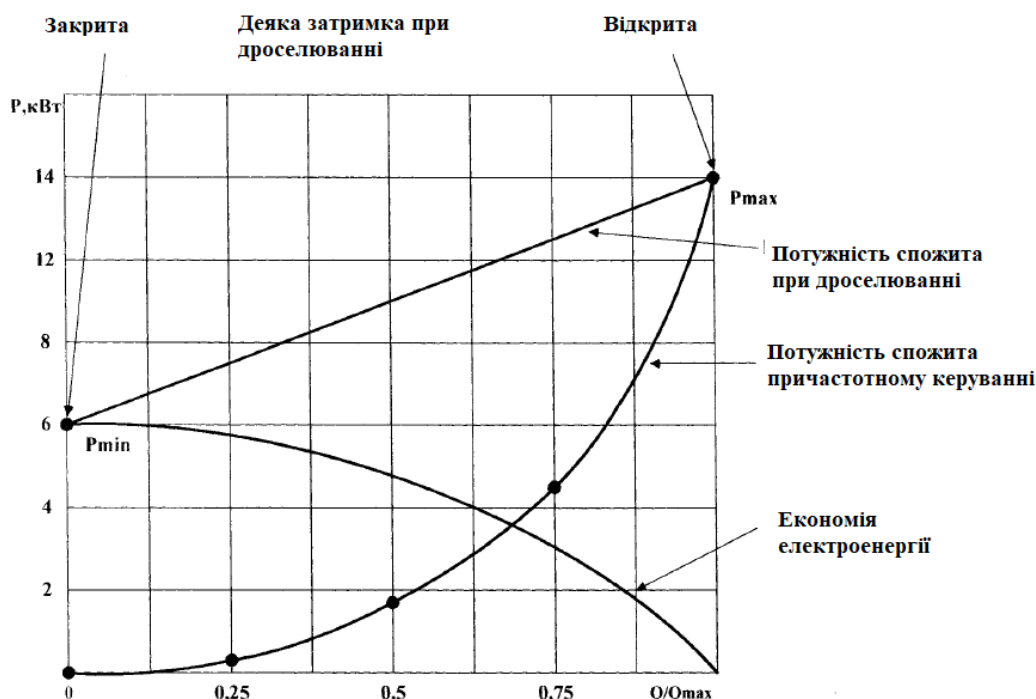


Рисунок 4 - Споживання потужності за різних способів регулювання швидкості обертання насосів

1.3 Перетворювач частоти MICROMASTER фірми SIMENS

Преобразувачі MICROMASTER 440 є серійними пристроями для регулювання швидкості обертання трифазних електродвигунів. Окремі моделі мають робочий діапазон потужностей від 120 Вт при однофазному вході до 75 кВт при трифазному живленні.

Ці перетворювачі обладнані мікропроцесорною системою управління та використовують передові технології на базі модулів IGBT (біполярні

транзистори з ізолюваним затвором). Завдяки цьому вони відрізняються високою надійністю і широкими функціональними можливостями. Інноваційний метод широтно-імпульсної модуляції із вибором частоти комутації забезпечує безшумну роботу електродвигунів. Розвинена система захисту гарантує ефективну експлуатацію як самого перетворювача, так і підключеного до нього електродвигуна.

Преобразувач MICROMASTER 440 постачається з налаштуваннями, які оптимально підходять для застосування в широкому спектрі задач, пов'язаних із регулюванням швидкості. Завдяки багатому набору параметрів конфігурації цей пристрій також здатний задовольнити високі вимоги у складних випадках регулювання швидкості. Його можна використовувати як у складі автономних систем, так і інтегрувати у процеси автоматизації.

1.3.2 Основні характеристики перетворювача частоти MICROMASTER :

- Простота встановлення, налаштування та введення в експлуатацію;
- Швидкий відгук на керуючі сигнали;
- Відповідність міжнародним стандартам електромагнітної сумісності;
- Можливість роботи з джерелами енергії порівняної потужності;
- Широкий набір параметрів для адаптації до різних сфер застосування;
- Зручне підключення дротів;
- Наявність релейних виходів;
- Аналогові виходи в діапазоні 0–20 мА;
- Шість ізолюваних перемикальних дискретних входів (PNP/NPN);
- Два аналогових входи:
 - а. AIN1: 0–10 В, 0–20 мА або –10 до +10 В;
 - б. AIN2: 0–10 В, 0–20 мА.
- Аналогові входи можуть бути перепризначені як сьомий і восьмий дискретні входи;
- Модульна конструкція для гнучкої конфігурації;
- Висока частота комутації, що забезпечує тиху роботу електродвигуна;
- Детальна інформація про робочий стан і вбудовані функції діагностики;

- Додаткове обладнання для передачі даних: комп'ютерний інтерфейс, базова панель управління (BOP), розширена операційна панель (AOP) та модулі передачі даних по шині Profibus.

1.3.3 Особливості захисту

Захист від:

- захист від підвищеної та зниженої напруги;
- захист перетворювача від перегріву;
- захист від замикання на землю;
- захист від короткого замикання;
- захист від перегріву двигуна за втратами $I^2 \cdot t$;
- Захист двигуна за термісторами РТС.

1.3.4 Функціональні особливості

Основні функції перетворювача:

- Векторне регулювання без датчика швидкості;
- регулювання потоку (FCC) для покращення динамічних характеристик та підвищення якості регулювання електродвигуна;
- миттєве обмеження струму (FCL) для роботи без відключення двигуна;
- Вбудоване динамічне гальмування постійним струмом;
- Комбіноване гальмування для покращення можливостей гальмування;
- Часи прискорення і гальмування з програмованим згладжуванням;
- використання замкнутого PID регулятора з автопідстроюванням;
- вбудований переривник гальма;
- Вибирається інтенсивність розгону та зупинки;
- 4-х точкова інтенсивність згладжування;
- багатоточкова V/f характеристика, що задається користувачем;
- Встановлені параметри можуть бути перенесені інші пристрої аналогічних процесів.



Рисунок 5 - Зовнішній вигляд перетворювача частоти Micromaster 440

Таблиця 1.1 – Характеристики перетворювача частоти Micromaster 440

Назва	Значення
Тип	6SE6440-2UD21-5AA 1
Номінальна потужність, кВт	1,5
Повна потужність, КВА	3,0
Номінальна вхідна напруга, В	AC 380-480 (+10%/—10%)
Номінальній вхідний струм, А	5,9
Номінальна частота мережі, Гц ,	от 47 до 63
Номінальний вихідний струм, А	4,0
Вихідна частота, Гц	0-650
Клас захисту	IP20

1.4 Функціональна схема стану та призначення термінальних клем

Функціональна схема стану приводу Micromaster 440 зображена на рисунку 2.2. У схемі детально показані основні функціональні компоненти приводу Micromaster 440 та канали його взаємодії з верхнім рівнем системи управління. Ключовим функціональним елементом приводу є модуль Micromaster 440, який містить у собі силові компоненти приводу та керуючі ланцюги, основані на мікропроцесорній технології. Призначення всіх виходів термінальної панелі приведено у таблиці 2.2.

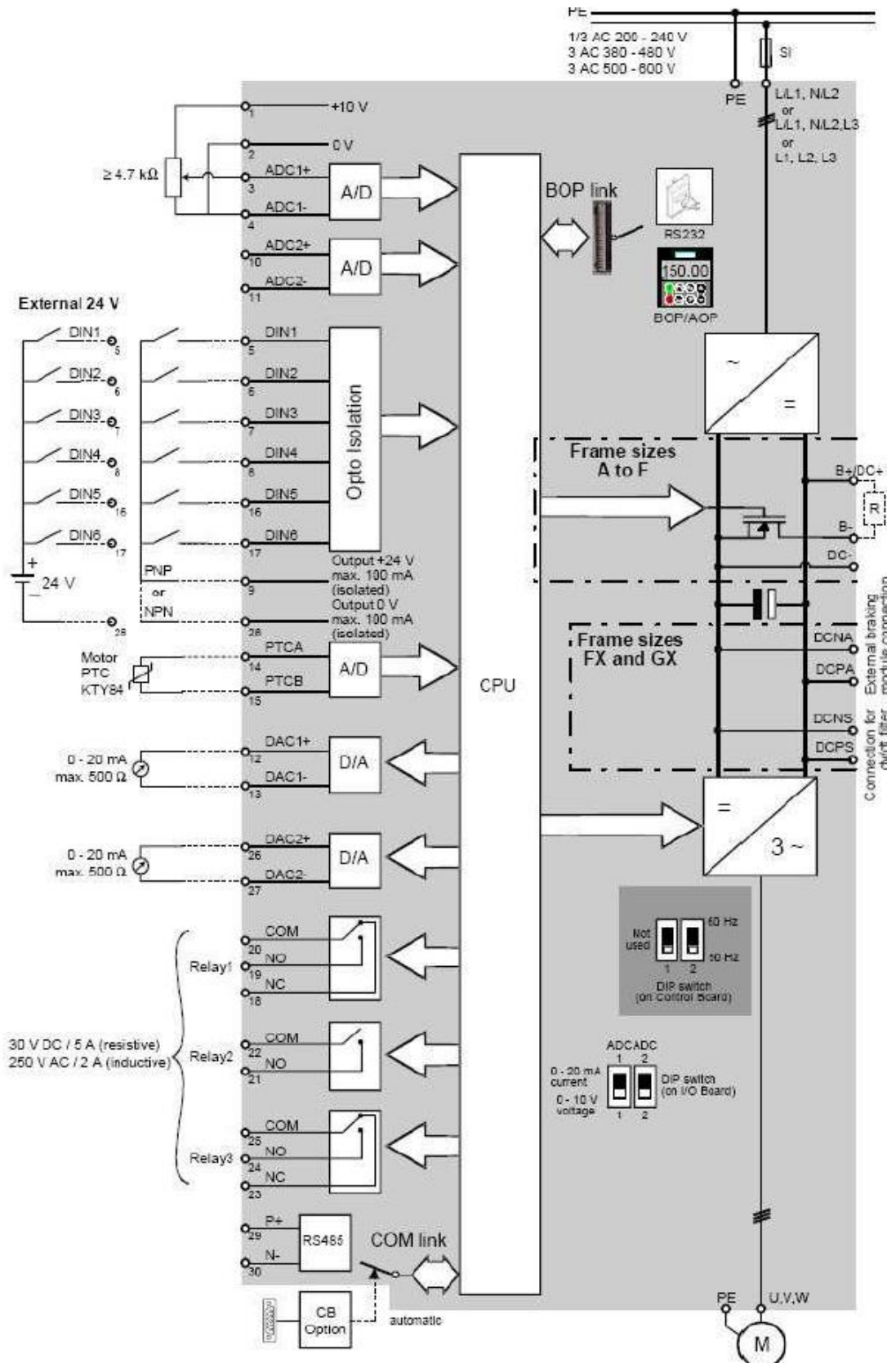


Рисунок 6 - Функціональна схема приводу Micromaster 440

Таблиця 2.2 - Призначення термінальних клем для ланцюгів управління приводом

п/п	Позначення	Призначення
1	-	Вихід внутрішнього джерела живлення +10 В
2	-	Вихід внутрішнього джерела живлення 0 В
3	ADC 1(+)	Аналоговий вхід 1 (+)
4	ADC 1(-)	Аналоговий вхід 1 (-)
5	DIN1	Дискретний вхід
6	DIN2	Дискретний вхід 2
7	DIN3	Дискретний вхід 3
8	DIN4	Дискретний вхід 4
9		Ізольований вихід внутр. джерела +24 В/макс. струм 100 МА
10	ADC2+	Аналоговий вхід 2 (+)
11	ADC2-	Аналоговий вхід 2(-)
12	DAC1+	Аналоговий вихід 1 (+)
13	DAC1(-)	Аналоговий вихід 1(-)
14	PTCA	Вхід для термодатчика РТС АБО КТУ 84
15	PTCB	Вхід для термодатчика РТС АБО К ТУ84
16	DINS	Дискретний вхід 5
17	DIN6	Дискретний вхід 6
18	DOU T1/NC	Дискретний вихід 1 / нормально замкнутий контакт
19	DOU T1/N0	Дискретний вихід 1 / нормально розімкнений контакт
20	DOU T1/COM	Дискретний вихід 1 / контакт, що перемикається
21	DOU T2/N0	Дискретний вихід 2 / нормально розімкнений контакт
22	DOU T2/COM	Дискретний вихід 2 / контакт, що перемикається
23	DOU T3/NC	Дискретний вихід 3 / нормально замкнутий контакт
24	DOU T3/N0	Дискретний вихід 3 / нормально розімкнений контакт
25	DOU T3/ COM	Дискретний ВИХІД 3 / контакт, що перемикається
26	DAC2+	Аналоговий вихід 2 (+)
27	DAC2-	Аналоговий ВИХІД 2 (-)
28	-	Ізольований ВИХІД внутрішнього джерела 0 В / макс. Струм 1 00МА
29	P+	Інтерфейс RS-485
30	N-	Інтерфейс RS-485

1.5 Опис терміналів управління ПЧ

1.5.1 Графічний термінал

Для налаштування перетворювача ви можете скористатися однією з опційних панелей оператора, таких як базова панель оператора (BOP) або розширена панель оператора (AOP). Для зручнішого обслуговування та параметрування перетворювачів також доступний спеціалізований інструмент DriveMonitor, який слугує для налаштування та документування.

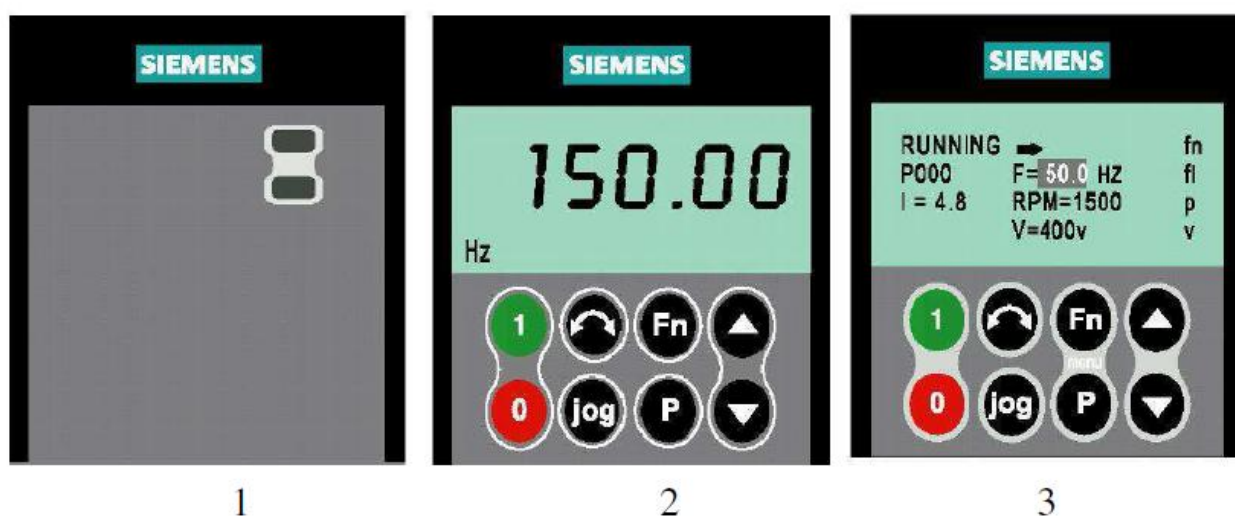


Рисунок 7 - Панелі для перетворювачів MICROMASTER 440: 1-Панель індикації; 2-Базова панель; 3-Розширена панель

1.6 Обслуговування із панеллю індикації статусу (SDP)

SDP поставляється стандартно з кожним перетворювачем MICROMASTER 440. Поле дисплея має попереду два LED світлодіоди, які відображають стан при роботі перетворювача.



Рисунок 8 - Зовнішній ВИГЛЯД панелі індикації статусу (SDP)

Таблиця 2.3 – позначення для відображення стану індикації SDP

Позначення	Стан приводу
1	ON
2	OFF
3	Спалахи з періодом = 0,3 с
4	Мерехтіння з періодом = 1 с

Таблиця 2.4 - комбінація сигналів визначення стану приводу

2-2	Відсутнє силове живлення
1-1	Готовність до запуску у обертання
2-1	Несправність приводу, Н0 Н6 з тих, що представлені Далі
1-2	Інвертор запущений у обертання
2-4	Несправність із перевищенням струму
4-2	Несправність з перенапругою
4-1	Проблема з перевищенням температури Двигуна
1-4	Несправність з перевищенням температури інвертора приводу
4-4	Однчасне мерехтіння 2х LED: повідомлення про роботу в струмообмеженні
4-4	Альтернативне мерехтіння 2х LED: інші повідомлення
4—3	Відключення через знижену напругу/ повідомлення про знижену напругу
3-4	Привід не знаходиться У стані готовності Однчасні
3-3	Однчасні спалахи 2х LED: збій В раб0Те ROM
3-3	Альтернативні спалахи 2х LED: збій В роботі RAM

Попередні установки наведено в таблиці 3.1. Розташування затискачів зображено Рисунок 9.

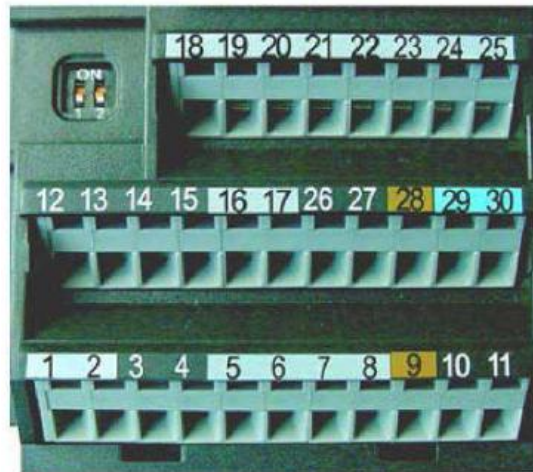


Рисунок 9 - Розташування затискачів

Таблиця 2.5 - Попередні установки для роботи з дисплеєм стану

	Клеми	Параметр	За замовчуванням
Дискретний вхід 1	5	P0701 = 1	Увімкнення, праворуч
Дискретний вхід 2	6	P0702 = 12	Реверс
Дискретний вхід 3	7	P0703 = 9	Скидання аварії
Дискретний вхід 4	8	P0704 = 15	Фіксована частота
Дискретний вхід 5	16	P0705 = 15	Фіксована частота
Дискретний вхід 6	17	P0706 = 15	Фіксована частота
Дискретний вхід 7	Через AIN 1	P0707 = 0	Не використовується
Дискретний вхід 8	Через AIN 2	P0708 = 0	Не використовується

1.7 Обслуговування базової (BOP) та розширеної панеллю приводу (AOP)

Зовнішній вигляд панелей представлено на Рисунку 2.6. Базова та розширена панель оператора (BOP), яка постачається як додаткова опція, надає можливість доступу до параметрів перетворювача та забезпечує конкретні налаштування приводу через параметрування. Панель BOP та AOP оснащені сегментними індикаторами в дисплейній частині для відображення параметрів приводу.

Панель ВОР не містить пам'яті для збереження інформації (параметрів) і не має активних компонентів мікроЕОМ (на відміну від АОР, яка має вбудовану пам'ять для збереження параметрів і багатомовний інтерфейс). У таблиці 2.4 наведено перелік клавiш для керування панелями..

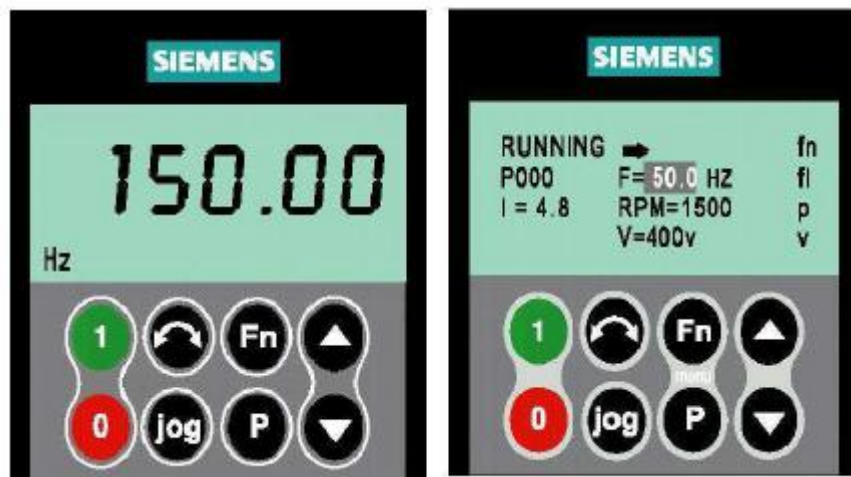


Рисунок 10- Базова (ВОР) і розширена панель приводу (АОР)

Таблиця 2.6 - Клавiші базової та розширеної панелі управління

Клавiша	Функція	Призначення
	Індикатор стану	LCD показує установку або параметр, з якої перетворювач працює в даний момент.
	Пуск двигуна	При натисканні клавiші перетворювач запускається. Ця клавiша є за замовчуванням пасивною. Клавiшу активують установкою P0700 =1
	Стоп двигуна	OFF1 Натискання клавiші призведе до зупинки перетворювача за вибраною рамкою швидкості. За промовчанням клавiша пасивна, активується установкою P0700 = 1. OFF 2 — Подвійне натискання (або тривале утримання) викликає вільний вибігання електродвигуна до зупинки.
	Реверс обертання	Натискання цієї клавiші викликає реверсування (зміна напрямку обертання) електродвигуна. Назад обертання відображається мінус (—) або миготливою десятковою точкою. За замовчуванням

		клавiша пасивна, активiзується установкою P0700: 1.
	Поштовховий режим	Натискання цієї клавiши при зупиненому перетворювачi забезпечує пуск електродвигуна iз заданою JOG - qa CTOfi. Пiсля вiдпускання клавiши перетворювач зупиняє двигун. Натискання клавiши при працюючому перетворювачi з електродвигуном, не призводить до жодних дiй
	Функцiї	Ця клавiша може використовуватись для вiдображення додаткової iнформацiї. Клавiша повинна натискатися та утримуватися протягом 2 секунд. Вона вказує пiд час роботи наступне: 1. Напруга ланки постiйного струму (Позначено буквою d) В (V) 2. Вихiдний струм (A) 3. Вихiдна частота (Hz) 4. Вихiдна напруга (V) 5. Величину (обрану В P0005) Повторнi натискання повертають показ дисплея поточному значенню.
	Доступ до	Натискання цієї клавiши забезпечує доступ до параметрiв та параметрiв приводу.
	Збiльшити значення вiдображуване значення	Натискання цієї клавiши збiльшує. Для змiни завдання частоти за допомогою ВОР необхідно встановити P1000=1
	Зменшити вiдображуване значення	Натискання цієї клавiши зменшує. Для змiни значення завдання частоти з допомогою ВОР необхідно встановити P1000 = 1.

1.8 Підключення гальмівного резистора

Гальмівний резистор використовується для розсіювання енергії постійного струму під час динамічного гальмування. У більшості випадків його підключають безпосередньо до перетворювача. Вибір гальмівного резистора здійснюється за каталогом, з урахуванням потужності перетворювача.

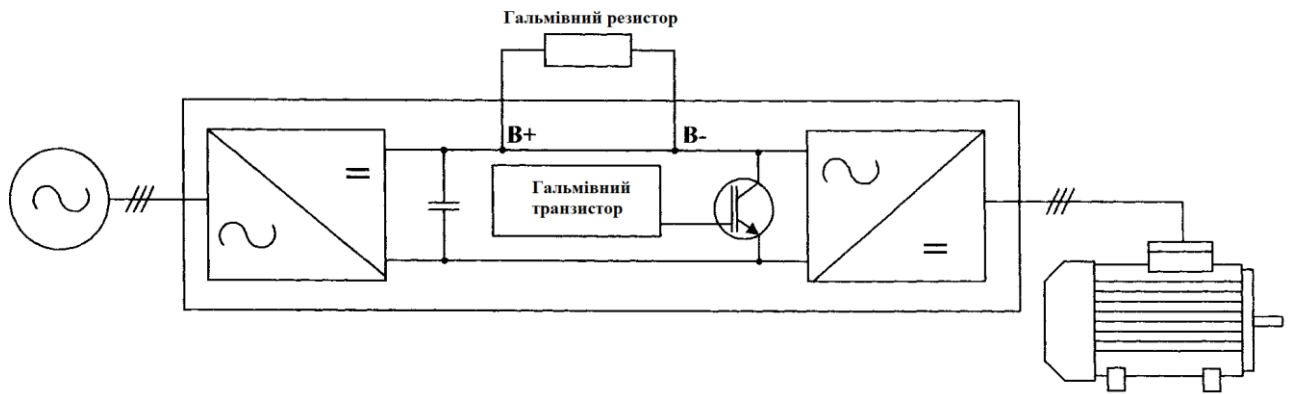


Рисунок 11 - Підключення гальмівного резистора у схему ПЧ

1.9 Принцип роботи перетворювача

Базовими елементами асинхронного частотно-регульованого електроприводу є керований перетворювач частоти ПЧ (УЗФ), що живиться від мережі напругою U_c і частотою f_c , асинхронний Двигун АТ (М), що живиться від ПЧ, представлений на Рисунок 12.

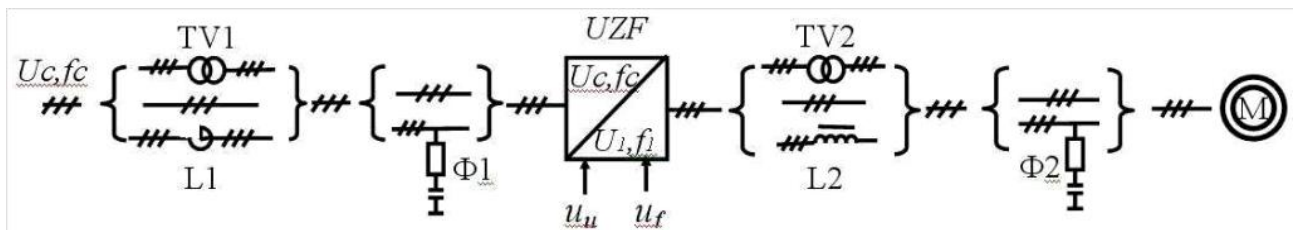


Рисунок 12 - Склад силової частини системи ПЧ-АД

У разі необхідності узгодження потужності та вхідної напруги живлення самого перетворювача частоти (ПЧ) із параметрами мережі між ними може бути встановлено узгоджувальний трансформатор TV1. Для обмеження струмів короткого замикання та перенапруг на вході ПЧ застосовуються струмообмежувальні реактори L1 та додаткові компенсуючі С-фільтри F1. У випадках необхідності узгодження вихідної напруги ПЧ із вхідною напругою електродвигуна (наприклад, для високо- або середньої напруги електричних

машин) між ними можуть бути встановлені узгоджувальні трансформатори TV2.

Якщо електродвигун знаходиться на значній відстані від перетворювача (при довжині з'єднувального кабелю понад 50 м, а для деяких типів перетворювачів — навіть понад 200 м), на виході ПЧ для зниження впливу перенапруг на силові напівпровідникові елементи передбачено встановлення фільтрувальних дроселів L2, а також заводознижувальних RC-фільтрів F2.

Вихідна частота f_1 і фазна напруга U_1 (або струм I_1) перетворювача частоти визначаються відповідно до керувальних сигналів u_f і u_i . Регулювання вихідної частоти f_1 здійснюється напруги U_1 (або струму I_1) забезпечує регулювання основних координат АТ (струму, електромагнітного моменту M кутової швидкості θ)).

Найбільшого поширення набули дві групи керованих напівпровідникових ПЧ:

- перетворювачі зі ланкою постійного струму та автономним інвертором АІ (інвертором напруги АІН або струму АІТ);

- перетворювачі з безпосереднім зв'язком мережі живлення та навантаження ПЧНС (без інвертора с широтно-імпульсною модуляцією вихідної напруги).

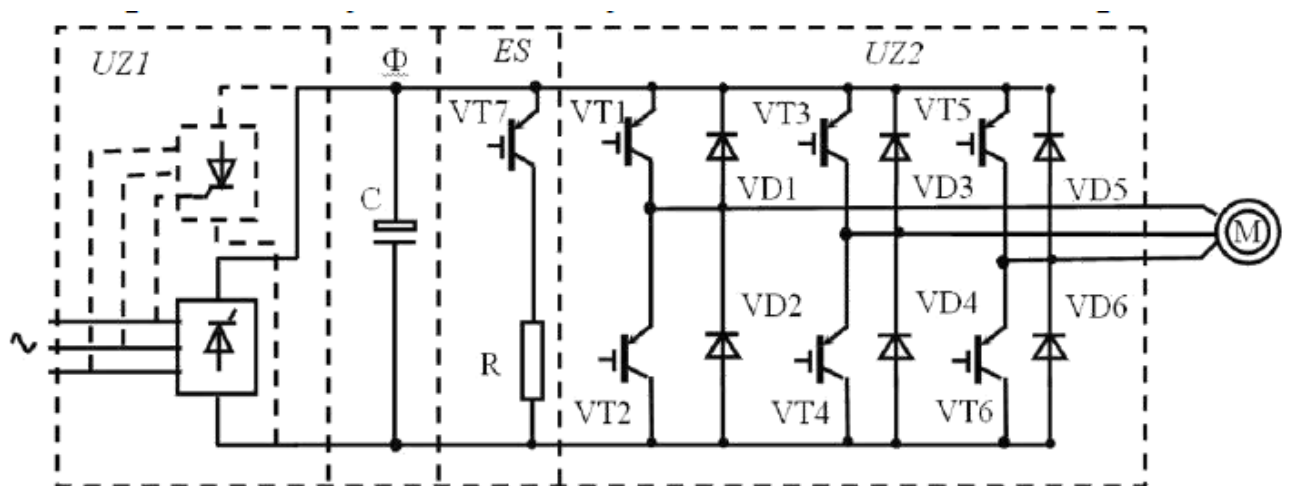


Рисунок 13 - Схема силової частини ПЧ на базі АІТ

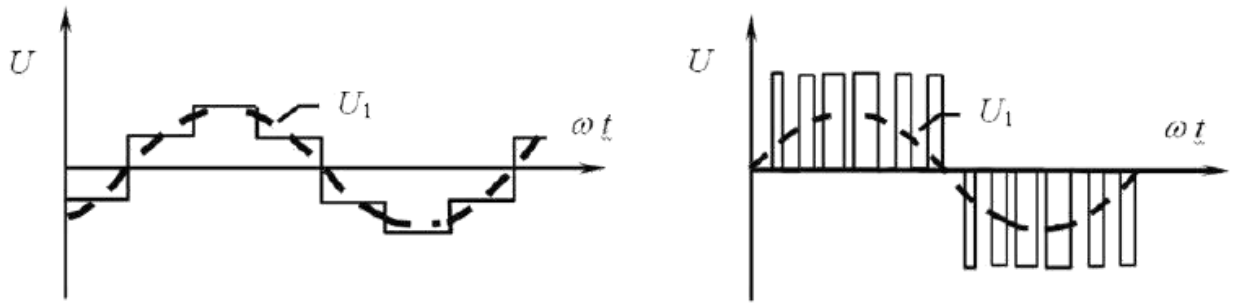


Рисунок 14 - Діаграми вихідних напруг АІН:

а - при амплітудно-імпульсній модуляції;

б - при широтно-імпульсній модуляції

Перетворювач на основі системи ПЧ-АІ включає три основні силові модулі: керований або некерований випрямляч (UZ1), силовий фільтр (типу С або LC) у ланці постійного струму, а також автономний інвертор (UZ2) (рис. 2.9, рис. 2.11). Автономний інвертор може бути реалізований із використанням одноопераційних тиристорів з примусовою комутацією, запірних тиристорів (GTO) або повністю керованих силових транзисторів. Останні, як правило, базуються на IGBT-модулях, що включають транзистор із ізольованим затвором та шунтовий силовий діод.

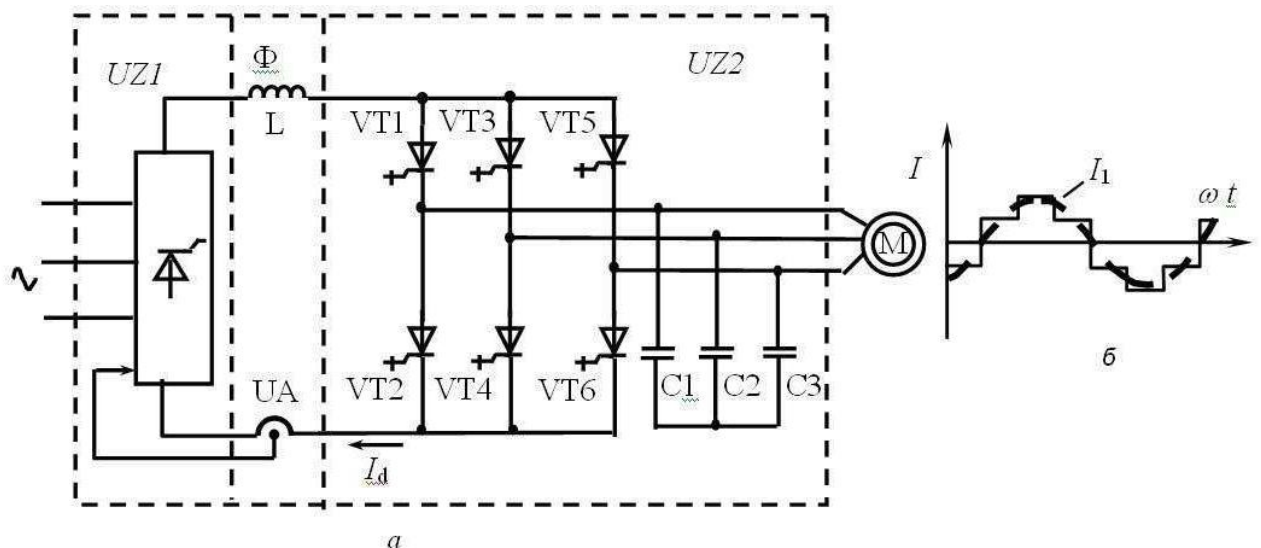


Рисунок 15 - Схема силовій частини АІТ та його діаграми вихідного струму

а - Схема силовій частини АІТ

б - Діаграми вихідного струму АІТ

АІН (зображений на Рисунок 13) є джерелом напруги. Завдяки ємності конденсатора С фільтра Φ і зустрічно-паралельно підключеним діодам VD1–

VD6 до силових ключів VT1–VT6, при роботі АІН на активно-індуктивне навантаження, до якого належить асинхронний двигун (АД), забезпечується обмін реактивною енергією між АД і ланкою постійного струму. Це дозволяє підтримувати безперервність струмового кола в обмотках АД у разі відключення їх від джерела живлення під час комутації та повернення накопиченої магнітної енергії в конденсатор фільтра.

Вихідна напруга АІН може регулюватися двома способами:

- за наявності керованого випрямляча УЗІ — зміною напруги в ланці постійного струму, коли інвертор виконує функцію комутатора фаз, формуючи необхідну частоту (АІН із амплітудно-імпульсною модуляцією, АІМ);
- за наявності некерованого випрямляча — широтно-імпульсним регулюванням напруги в інверторі шляхом модуляції напруги несучої частоти (частоти комутації силових ключів) сигналом заданої частоти (АІН із широтно-імпульсною модуляцією, ШІМ).

Діаграми вихідних фазних напруг U і перших гармонік U для АІН із АІМ та ШІМ наведені на Рисунок 14, а та , б відповідно.

У перетворювачах частоти з АІН відсутня можливість рекуперації енергії в живильну мережу. У разі необхідності повернення енергії до мережі живлення вхідний випрямляч у складі перетворювача частоти з АІН повинен бути реверсивним і керованим (на Рисунок 14, а позначено пунктиром). Якщо такий випрямляч відсутній, для забезпечення режиму динамічного гальмування асинхронного двигуна паралельно фільтру встановлюється вузол скидання енергії, що базується на ключі VT7 і силовому резисторі R. При перевищенні допустимого рівня напруги на виході фільтра ключ VT7 відкривається і забезпечує розряд конденсатора через резистор R.

Перетворювач частоти з автономним індуктивним тормозом (АІТ), представлений на рисунку 2.1, діє за принципом джерела струму. У системі застосовується керований перетворювач UZ, який функціонує у режимі джерела струму, тоді як інвертор UZ2 забезпечує комутацію обмоток статора асинхронного двигуна (АД) через силові ключі VT1-VT6. Основною технічною

особливістю перетворювача частоти з АІТ порівняно з перетворювачами частоти на основі автономного інвертора (АІН) є наявність індуктивного L-фільтра, а також відсутність ємнісного фільтра на виході випрямляча, зворотних діодів, що шунтують силові ключі, та наявність конденсаторів С1, С2, С3 на виході інвертора, які виступають джерелом реактивної енергії для навантаження.

У разі переходу АД у генераторний режим змінюється напрямок його ЕРС (електрорушійної сили). У таких умовах інвертор переходить у режим роботи випрямляча і прагне збільшити струм I_d у ланцюзі постійного струму. Проте завдяки застосуванню системи негативного зворотного зв'язку по струму I_d , яка використовує датчик струму U_A (зображений на рисунку 2.10,а), перетворювач $UZ1$ стабілізується у режимі інвертора під управлінням мережі, зберігаючи попередній напрямок та величину струму I_d . Це забезпечує ефективний режим рекуперативного гальмування АД. Діаграми вихідного фазного струму I АІТ та його основної гармоніки I_1 наведені на рисунку 2.10,б.

До переваг перетворювачів за системою ПЧ-АІ можна віднести наступне:

- широкий діапазон частот вихідної напруги АІН (від 0 до 1500 Гц), що обмежується лише частотою комутації й втратами потужності в силових ключах автономного інвертора (для АІТ максимальна вихідна частота струму становить від 100 до 125 Гц);

- невисокий рівень гармонічних складових напруги або струму статора двигуна та струму, споживаного від живильної мережі;

- високий коефіцієнт потужності (до 0,95–0,98) у перетворювачах із некерованим випрямлячем. У разі використання керованого випрямляча коефіцієнт потужності незначно знижується і стає наближеним до значення цього показника у системах тиристорних перетворювачів — двигун постійного струму;

- відносно невелика кількість силових ключів у конструкції перетворювача (у порівнянні з ПЧНС) і простота їх управління без необхідності синхронізації роботи з живильною мережею;

- для АІТ потенційна можливість рекуперації енергії у мережу та безаварійність роботи у випадку короткого замикання на виході.

До недоліків таких перетворювачів можна віднести:

- подвійне перетворення енергії (спочатку змінна напруга живильної мережі переходить у постійну за допомогою випрямляча, а потім зі сталої форми — у змінну на виході інвертора), що знижує загальний коефіцієнт корисної дії перетворювача частоти до значень 0,94–0,96;

- залежність умов штучної комутації тиристорних ключів від значення коефіцієнта потужності $\cos\phi$ і рівня навантаження двигуна;

- для асинхронного інвертора (АІН), який не обладнаний додатковою керованою інверторною групою в блоці випрямляча UZI, характерна відсутність можливості повертати енергію в живильну мережу перетворювача. Це обмежує швидкодію регулювання швидкості асинхронного двигуна в режимах його гальмування. Крім того, потрібні високі значення ємності фільтра Φ , що, у свою чергу, збільшує розміри конденсаторної батареї.

- для автономного інвертора напруги (АІН) характерні певні обмеження: неможливість роботи на групове навантаження, значна маса і габарити реактор-фільтра Φ , виникнення комутаційних перенапружень на силових ключах, а також нижчий коефіцієнт потужності у порівнянні з аналогічними пристроями, що використовують широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) та некерований вхідний випрямляч.

У перетворювачі ****Micromaster 440**** застосовано систему на основі автономного інвертора напруги (АІН), який працює за принципом широтно-імпульсного перетворення (ШІП).

Для розуміння обмежень, пов'язаних із використанням перетворювачів із АІН, важливо знати ключові принципи функціонування таких пристроїв.

Основний принцип роботи перетворювача частоти ілюструє схема Рисунок 16. Трифазний змінний струм мережевої напруги (з можливістю використання однофазної напруги) випрямляється за допомогою трифазного

випрямляча. Отримана постійна напруга надалі інвертується транзисторами IGBT у змінну напругу зі змінними частотою та амплітудою.

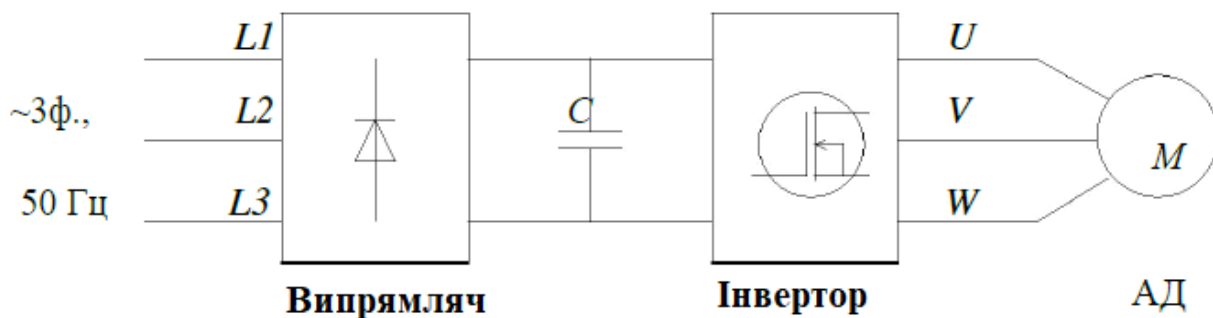


Рисунок 16 - Принцип пристрою перетворювача частоти

Для забезпечення ефективного процесу гальмування електродвигунів в частотних перетворювачах типу АІН використовується метод гальмування постійним струмом, який подається в обмотку статора. У випадку використання нереверсивного випрямляча можливий також режим динамічного гальмування, що реалізується через введення резистора в обмотку статора. Такий підхід дозволяє знизити тепловиділення в електродвигуні та зменшити енергоспоживання. Завдяки повністю керованій конструкції інвертора, усі режими гальмування піддаються регулюванню.

Частота широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) у частотному перетворювачі Micromaster 440 може варіюватися від 2 до 16 кГц і задаватися вручну. Загалом частота ШІМ визначається навантаженням і температурним станом перетворювача. У разі перевищення допустимої температури частота ШІМ автоматично зменшується, що є засобом запобігання перегріву.

Сучасні частотні перетворювачі надають широкий вибір методів регулювання залежності частоти й напруги на електродвигуні. Вибір конкретного закону регулювання визначається типом навантаження і вимогами до точності регулювання. Частотний перетворювач Micromaster 440 підтримує наступні режими задання залежності напруги (V) від частоти (f):

— Лінійна залежність V/f (за замовчуванням). Використовується для пристроїв із змінним або постійним моментом (наприклад, насоси, конвеєри);

— FCC (регулятор потоку струму). Ця стратегія підтримує струм у двигуні, який створює магнітний потік, що підвищує ефективність системи. Використовується для оптимізації коефіцієнта корисної дії і динамічних характеристик електроприводу;

— Квадратична залежність V/f . Підходить для навантажень зі змінним моментом (зокрема компресори, насоси);

— Багатоточкова залежність V/f . Призначена для специфічних завдань, що вимагають індивідуальних рішень щодо регулювання.

2 ОБЛАДНАННЯ СТЕНДУ

2.1 Асинхронний двигун АИР80А4

Загальні данні

Електродвигун асинхронний трифазний закритого виконання з короткозамкненим ротором загальнопромислового призначення.

— Призначений для приводу різних механізмів: верстатів, насосів, компресорів, вентиляторів, млинів тощо;

- Робоча напруга 380 В.

Призначений для роботи в наступних умовах:

- Температура навколишнього середовища від мінус 40 до плюс 45 °;

- Висота над рівнем моря не більше 1000 м;

- відносна вологість повітря при температурі плюс 25 ° С - до 98%

для виконання УЗ;

- навколишнє середовище не вибухонебезпечне, що не містить струмопровідного пилу, агресивних газів і пар у концентраціях, що руйнують метал та ізоляцію;

- запилення повітря для двигунів зі ступенем захисту IP54 не більше 10 МГ/МЗ;

- Середнє значення рівня звуку на відстані 1 М від корпусу двигуна основного виконання на холостому ході становить від 51 до 85 дБ в залежності від габариту (50-250 ММ) та синхронної частоти обертання;

- Ступінь захисту IP 54.



Рисунок 17 - Асинхронний двигун АІР80А4 із встановленим на валу гальмівним диском для електромагнітного гальма



Рисунок 18 - Табличка асинхронного двигуна

Таблиця 3.1 – Технічні параметри

Модель електродвигуна	АІР80А4
Потужність, уВт	1,1
Швидкість обертання, об/хв	1410
ККД, %	75
Коефіцієнт потужності cosφ	0,8
Маса основного виконання, кг	13
Кількість полюсів	4
Номінальний струм при напрузі	5,0/2,9 А 220/380В,
Номінальний момент, що крутить, Нм	7,40
$I_{\text{пуск}}/I_{\text{НОМ}}$	5,0
$M_{\text{макс}}/M_{\text{НОМ}}$	2,2

2.1.1 Влаштування трифазних асинхронних двигунів

Для лабораторного стенду використовується асинхронний двигун із короткозамкненим контуром. Зовнішній вигляд представлений на малюнку 3.3

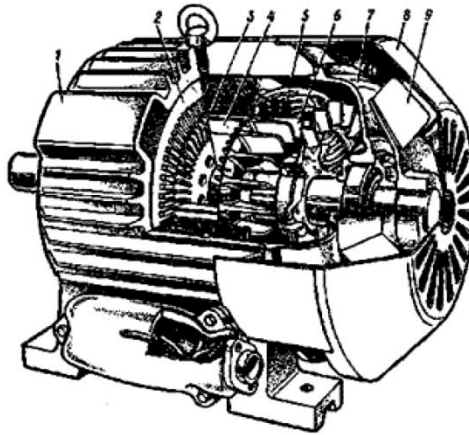


Рисунок 19 - Влаштування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором
1 – корпус; 2 - сердечник статора; 3 - сердечник ротора; 4 - обмотка ротора (білизна клітина); 5-обмотка статора; 6 - вентиляційні лопатки ротора;
7 - підшипниковий щит; 8 - кожух вентилятора; 9 – вентилятор.

Малюнок 3.3 На статорі розташована трифазна обмотка, яка при підключенні до мережі трифазного струму створює магнітне поле, що обертається. Обмотка ротора виконана у вигляді біличної клітини, є короткозамкнутою і жодних висновків не має (рисунок 3.4).

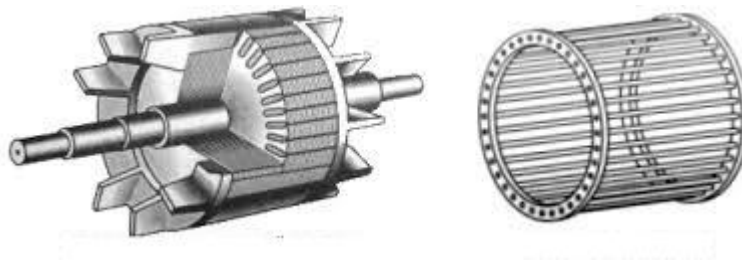


Рисунок 20 - Білича клітина

Білича клітина складається з мідних АБО алюмінієвих стрижнів, замкнутих накоротко з торців двома кільцями (Рисунок 20).

Стрижні цієї обмотки вставляють в пази сердечника ротора без будь-якої ізоляції. У двигунах малої та середньої потужності біличну клітину зазвичай отримують шляхом заливання розплавленого алюмінієвого сплаву в пази сердечника ротора (Малюнок 3.6).

Разом зі стрижнями білочної клітини відливають короткозамикаючі кільця та торцеві лопаті, що здійснюють вентиляцію машини.

Разом зі стрижнями білкової клітки відливають короткозамкнені кільця та торцеві лопаті, які забезпечують вентиляцію машини.

Для цієї мети особливо підходить алюміній завдяки його низькій густині, легкоплавкості та достатньо високій електропровідності. У машинах великої потужності пази короткозамкненого ротора виконують напівзакритими, а в машинах малої потужності — закритими. Обидві форми пазів дозволяють надійно закріпити провідники обмотки ротора, хоча й дещо збільшують потоки розсіювання та індуктивний опір роторної обмотки. У двигунах великої потужності білкову клітку виготовляють із мідних стрижнів, кінці яких приварюють до короткозамкнених кілець. Різні форми пазів ротора подано на **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

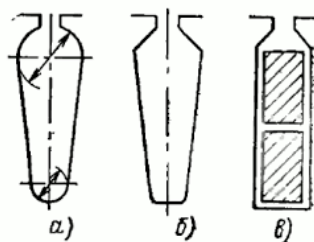


Рисунок 21 - Різні форми пазів ротора

В електротехнічному сенсі ротор білкової клітки являє собою багатофазну обмотку, з'єднану за схемою Y і замкнену накоротко. Кількість фаз обмотки m_2 відповідає кількості пазів ротора Z_2 , причому кожна "фаза" складається з одного стрижня та прилеглих до нього ділянок короткозамкнених кілець.

Асинхронні двигуни з фазним або короткозамкненим ротором часто мають скошені пази на статорі або роторі. Скошування пазів виконується для зменшення впливу вищих гармонік ЕРС, які виникають через пульсації магнітного потоку і зубців; для зниження шуму, спричиненого магнітними силами; а також для усунення явища прилипань ротора до статора, яке іноді зустрічається у мікродвигунах.

2.1.2 Принцип дії асинхронного двигуна

В асинхронній машині одну з обмоток розміщують на статорі 1 (Рисунок 22), а другу - на роторі 3. Між ротором і статором є повітряний зазор, який для поліпшення магнітного зв'язку між обмотками роблять по можливості малим. Обмотка статора 2 являє собою трифазну (АБО загальному випадку багатофазну) обмотку, котушки якої розміщують рівномірно по колу статора.

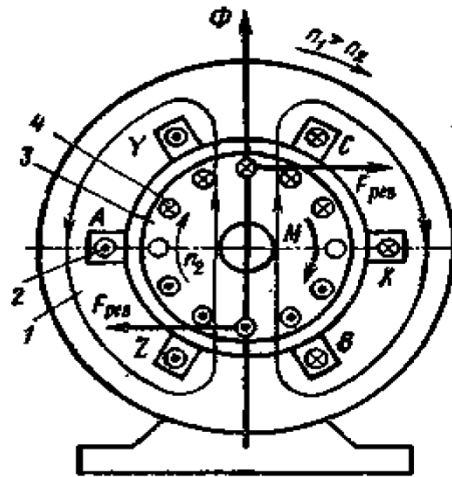


Рисунок 22- Електромагнітна схема асинхронної машини, напрямки струмів І електромагнітного моменту під час роботи в двигунному режимі:

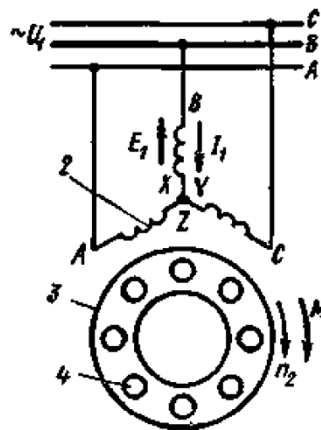


Рисунок 23 - Електрична схема розташування обмоток

1- статор двигуна; 2- обмотка статора; 3- ротор двигуна; 4-обмотка ротора
Фази обмоток статора AX, BY та CZ з'єднують за схемою Y або Δ і підключають до мережі трифазного струму (рисунок 3.9). Обмотку ротора виконують трифазною або багатофазною та рівномірно розподіляють уздовж окружності ротора. У найпростішому випадку її фази замикають накоротко.

Проте в цьому режимі електромагнітний момент M спрямований проти обертання ротора, тобто є гальмівним. Такий режим роботи асинхронної машини називають режимом електромагнітного гальмування. Оскільки ротор обертається в зворотному напрямку (відносно напрямку магнітного поля), то:

$$n_1 = 60 \cdot f / p \quad (2.1)$$

де f – частота мережі живлення; p – число пар полюсів.

Обертове магнітне поле перетинає провідники обмотки ротора і індукує в них ЕРС. На Рисунок 22 показано, відповідно до правила правої руки, напрямок ЕРС, індукованої у провідниках ротора при обертанні магнітного потоку Φ за годинниковою стрілкою, при цьому провідники ротора рухаються відносно потоку Φ проти годинникової стрілки. Активна складова струму ротора збігається за фазою з індукованою ЕРС, тому умовні позначення (хрестики і точки) на Рисунок 23 одночасно вказують і напрямок активної складової струму.

На провідники зі струмом, розташовані в магнітному полі, діють електромагнітні сили, напрямок яких визначається правилом лівої руки. Сумарне зусилля $F_{рег}$, прикладене до всіх провідників ротора, формує електромагнітний момент M , що змушує ротор обертатися за обертовим магнітним полем. Якщо цей момент є достатньо великим, ротор починає обертатися, і його стала частота обертання n_2 відповідає рівновазі між електромагнітним моментом і моментом опору, створеним навантаженням механізму та силами внутрішнього тертя.

Такий режим роботи асинхронної машини є двигатським, очевидно, у разі

$$0 \leq n_2 \leq n_1 \quad (2.2)$$

Відносну різницю частот обертання магнітного поля і ротора називають ковзанням

$$s = (n_1 - n_2) / n_1 \quad (2.3)$$

Ковзання часто записують у відсотках

$$s = \frac{[(n)_1 - n_2]}{n_1} \cdot 100 \% \quad (2.4)$$

Очевидно, що в цьому режимі двигуна

$$1 > s > 0$$

Якщо ротор асинхронної машини розігнати за допомогою зовнішнього моменту (наприклад, за допомогою якогось двигуна) до частоти, що перевищує частоту обертання магнітного поля n_1 , то зміниться напрямок ЕРС у провідниках ротора та активна складова струму ротора. Іншими словами, асинхронна машина перейде до генераторного режиму (Рисунок 24).

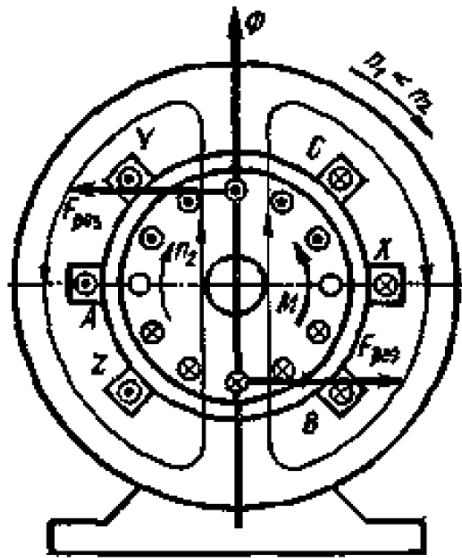


Рисунок 24 - Електромагнітна схема асинхронної машини, напрями струмів та електромагнітного моменту при генераторному режимі

При цьому змінюється напрямок електромагнітного моменту M , який стає гальмівним. У генераторному режимі асинхронна машина отримує механічну енергію від первинного двигуна, перетворює її на електричну та передає в мережу, при цьому $s < 0$.

Якщо змінити напрямок обертання ротора або магнітного поля таким чином, щоб магнітне поле та ротор оберталися у протилежних напрямках (Рисунок 25), то ЕРС і активна складова струму в провідниках ротора матимуть таке ж спрямування, як у моторному режимі. Це означає, що машина буде отримувати активну потужність із мережі.

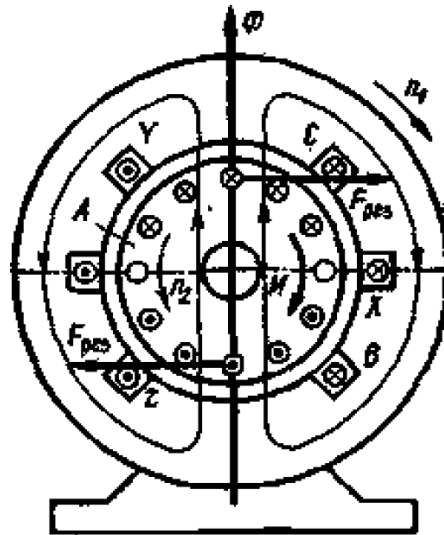


Рисунок 25 - Електромагнітна схема асинхронної машини, напрями струмів та електромагнітного моменту при гальмівному режимі

У такому режимі електромагнітний момент M спрямований проти обертання ротора, тобто виконує гальмівну функцію. Цей режим роботи асинхронної машини називають режимом електромагнітного гальмування. Оскільки ротор обертається у зворотному напрямку (щодо напрямку магнітного поля), то:

$$n_2 > 0, s < 0$$

Отже, характерною особливістю асинхронної машини є наявність ковзання, тобто нерівність частот обертання n_1 і n_2 . Лише за цієї умови в провідниках обмотки ротора індукуються ЕРС і виникає електромагнітний момент. Через це машину називають асинхронною, оскільки її ротор обертається не синхронно з полем.

2.2 Датчик швидкості

2.2.1 Інкрементальний датчик

Імпульсний (або кроковий) енкодер — це такий тип енкодерів, які призначені для визначення напрямку руху зовнішнього механізму, а також його кутового переміщення.

Крокові енкодери є інкрементальними й через певні інтервали формують імпульси, що відповідають куту обертання валу. На відміну від абсолютних енкодерів, ці пристрої не генерують вихідні сигнали, коли їхній вал перебуває у

стані спокою. Для забезпечення роботи крокових енкодерів необхідно використовувати підрахункові пристрої, які фіксують вихідні імпульси й перетворюють їх на величину обертання валу.

Інкrementальні енкодери застосовуються там, де потрібно виміряти швидкість обертання валів у різних механізмах. Ось цих пристроїв можна поєднати з віссю механізму механічно за допомогою гнучкої перехідної муфти або жорсткої втулки. Крім того, енкодер може бути безпосередньо встановлений на вал, якщо його вісь виконана у вигляді порожнистої труби. У випадку використання гнучкої муфти корпус енкодера жорстко кріпиться до корпусу механізму, а несоосність і можливі биття компенсуються за рахунок деформації муфти. У решті випадків корпус енкодера та корпус механізму фіксуються шпилькою, щоб уникнути їх обертання відносно один одного.

Принцип дії Енкодера.

Всередині енкодера жорстко закріплений на валу скляний диск із нанесеними мітками (Рисунок 4.2). Лінза використовується для фокусування світлового потоку.



Рисунок 26 - Енкодер

Світлодіод і фотодетектор розташовуються по різні боки від диска. Завдяки цьому кількість світла, що потрапляє на фотодетектор, змінюється залежно від розташування міток на диску. Електронна плата перетворює сигнал, отриманий від фотоприймача, у дискретний вихідний сигнал. Кількість імпульсів у сигналі за один оберт вала в найпростішому випадку дорівнює кількості міток, нанесених на диск інкрементального енкодера.

Вихідний сигнал має два канали, імпульси в яких розташовуються під кутом 90 градусів один до одного, що дозволяє визначити напрямок обертання. Характеристики енкодера наведено в таблиці 4.1.

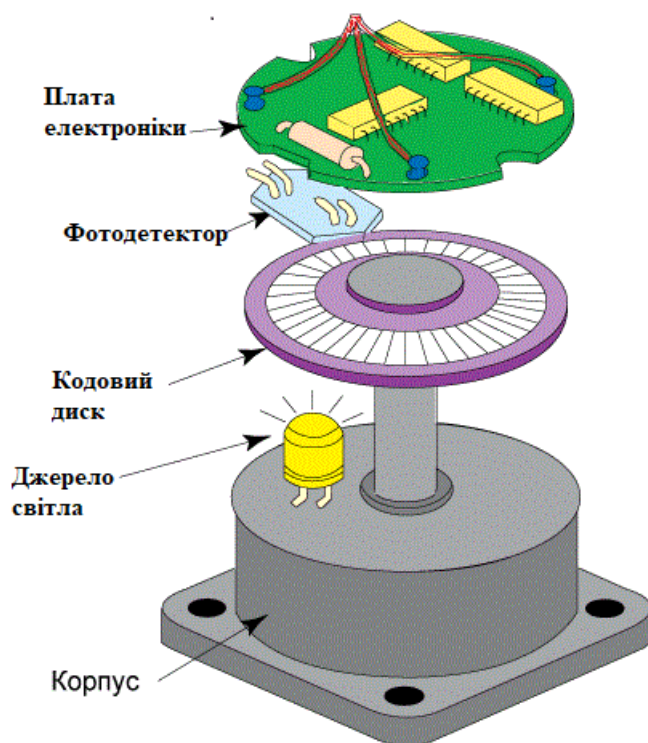


Рисунок 27 - Принцип дії інкрементального енкодера

Таблиця 2.1 – Технічні данні енкодера

Характеристики Енкодера	Значення
Напруга Живлення	10 ..30VDC
Вихідні сигнали	НТЛ Доріжки, нульовий імпульс та інверсні сигнали
Кількість імпульсів на оборот	1000 PPR
Точність (у кутових секунди)	+/- (64,800) /
Обмеження частоти	(-3 ДБ) 300 КГц
Допустима швидкість. Електричні	7,200RPM
Максимальна швидкість	12000
Максимальна довжина сполучного кабеля, м	100

Для квадратури виходу енкодера використовуються два вихідні канали, для того щоб визначити - обертається вал за годинниковою стрілкою або проти

годинникової стрілки, засноване на зсуві фази $90^{\circ} \pm 0$, допуск $\pm 45^{\circ}$ - прийнятний для специфікації зсуву фази.

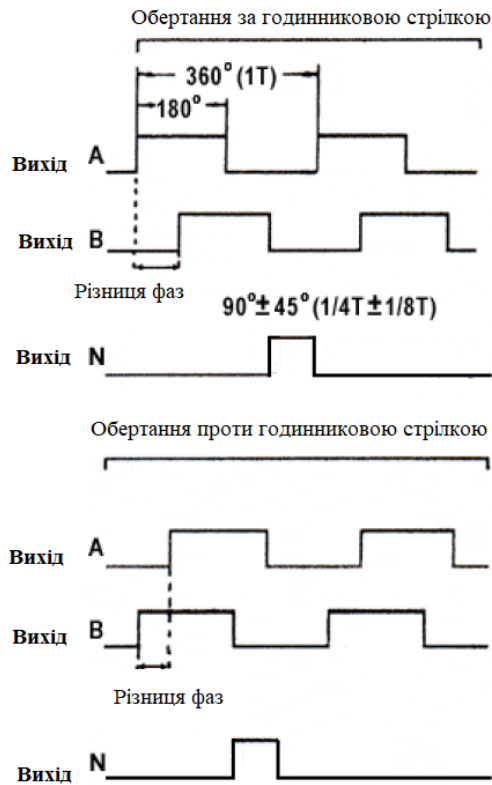


Рисунок 28 - Вихідні сигнали енкодера

2.3 Модуль датчика енкодера

Модуль датчика MICROMASTER був розроблений, щоб дозволити Перетворювачу взаємодіяти з найпоширенішими типами цифрових датчиків. Модуль датчика МОЖНА використовувати для енкодера високої напруги транзисторної логіки (HTL).



Рисунок 29 - Зовнішній вигляд модуля енкодера

Модуль датчика MICROMASTER має 12 клемних сполук, які описані в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 - Види клемних сполук

Клема	Опис
A	Канал А
AN	Канал А. Інвертований
B	Канал В
BN	Канал В. Інвертований
Z	Нульовий імпульс
ZN	Нульовий імпульс. Інвертований
18V	НТЛ зв'язок клеми р LK & 18V тільки
LK	Напруга живлення Вала енкодера
5V	TTL зв'язок клеми р LK & 5V тільки
VE	Живлення
0V	Живлення для енкодера
PE	Захисне заземлення

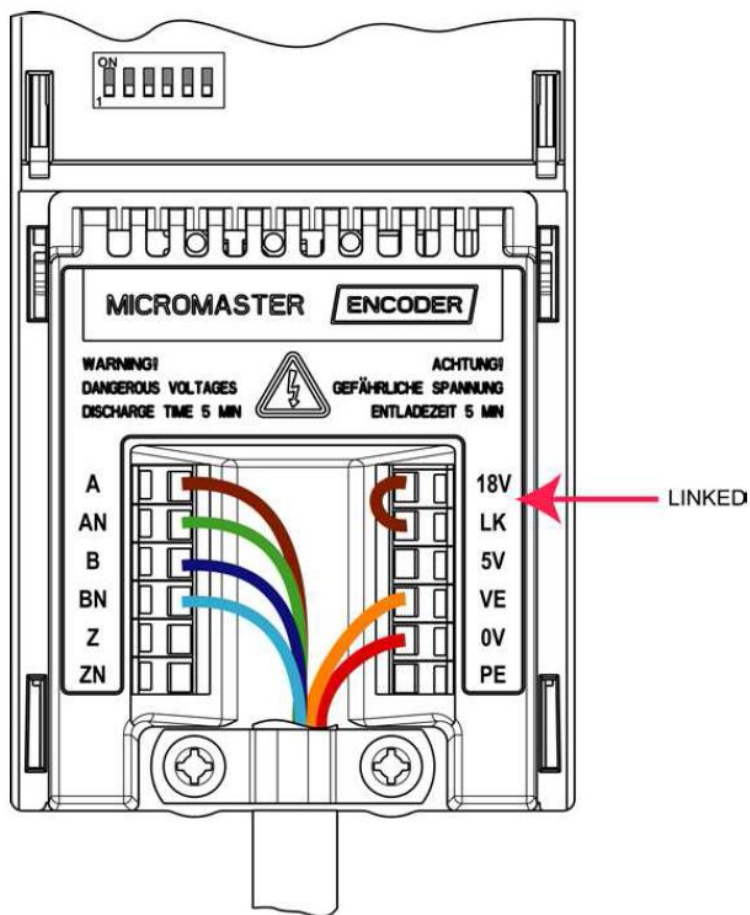


Рисунок 30 - Підключення модуля

2.4 Тахогенератор постійного струму

Тахогенератор постійного струму — це пристрій з незалежним збудженням або збудженням за допомогою постійних магнітів, що працює в генераторному режимі. За своєю конструкцією він майже не відрізняється від машин постійного струму. Тахогенератори такого типу використовуються для вимірювання частоти обертання через значення вихідної напруги та для отримання електричних сигналів, пропорційних частоті обертання вала в автоматизованих системах керування. Тахогенератор ТМГ-ЗОП — це малопотужний агрегат постійного струму з збудженням від постійних магнітів. Його робота базується на пропорційності між кутовою частотою обертання ротора генератора та його ЕРС при постійному потоці збудження. На малюнку 6.1 зображено зовнішній вигляд ТМГ-ЗОП.



Рисунок 31 - Тахогенератор ТМГ-30П

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики ТМГ-30П

Характеристики	Значення
Номінальна напруга, В	230
Опір навантаження R, Ом	2,64
Номінальна частота обертання, об/хв	4000
Клас точності	2,5
Похибка функціональної відображення залежності, %, не більше	±1
Режим роботи	тривалий
Маса, кг	3,34

2.4.1 Принцип действия тахогенератора

Тахогенератори постійного струму (ТГПС) за своїм принципом дії та конструкцією не мають особливих відмінностей від звичайних малопотужних генераторів постійного струму (Рисунок 6.3). Стабільність струму в обмотці збудження забезпечується живленням її від джерела стабілізованої напруги та використанням температурної компенсації для врахування змін опору обмотки.

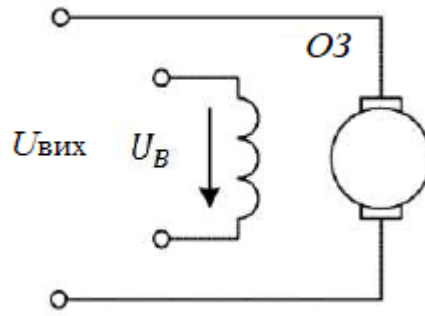


Рисунок 32 - До принципу дії ТГПТ

Особливість роботи тахогенератора полягає в тому, що якір зазвичай включений на постійний опірні \$R_n\$.

$$I = \frac{E}{R_{я} + R_E} = \frac{c \cdot n \cdot \Phi_E}{R_{я} + R_E} \quad (2.5)$$

де \$R_E\$ - внутрішній опір тахогенератора;

\$c\$ - конструктивна постійна генератора;

\$n\$ - швидкість обертання якоря;

\$\Phi_E\$ - Потік збудження.

Вихідна напруга тахогенератора:

$$U_{вих} = \frac{c \cdot n \cdot \Phi_E \cdot R_{я}}{R_{я} + R_E} \cdot n, \quad (2.6)$$

Величини, що характеризують параметри, що входять до чисельника і знаменника дробу виразу (2.2), постійні. Тому можна записати:

$$U_{вих} = k \cdot \omega. \quad (2.7)$$

де \$\omega\$ - кутова частота обертання якоря, \$с^{-1}\$;

\$k\$ - коефіцієнт перетворення тахогенератора.

$$k = \frac{30 \cdot n \cdot \Phi_E \cdot 1_{я}}{\pi \cdot (1 + \frac{R_E}{R_{я}})} \quad (2.8)$$

Рівняння (2.3), що є статичною характеристикою тахогенератора, показує, що напруга на виході тахогенератора пропорційно швидкості обертання \$\omega\$ (Рисунок 33).

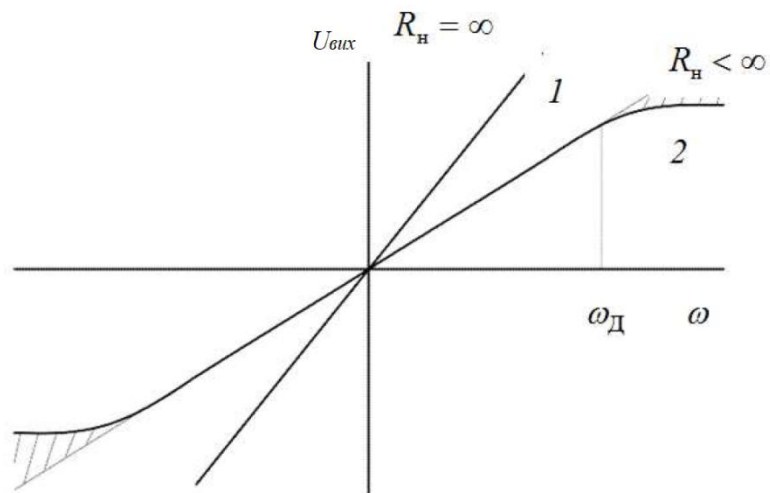


Рисунок 33 - Статична характеристика тахогенератора

Умова пропорційності виконується, якщо магнітний потік збудження (ФВ) залишається сталим. Проте магнітний потік може змінюватися під впливом реакції якоря.

Якщо щітки розташовані в нейтралі (Рисунок 34), то поздовжня складова реакції якоря (та, що збуджує або розмагнічує) дорівнює нулю. Поперечна ж складова реакції якоря, спричиняючи спотворення розподілу індукції на поверхні якоря, здатна змінити величину магнітного потоку лише в тому випадку, якщо магнітні полюси та якір перебувають у стані певного насичення.

Напруга на виході тахогенератора буде лінійною функцією від швидкості обертання за умови, що щітки тахогенератора розташовані в нейтралі; магнітні полюси та якір не досягають стану насичення; а струм навантаження не перевищує значень, за яких на вихідній частині полюса виникне насичення внаслідок дії поперечної складової реакції якоря.

На рисунку 3.3 показано залежність $U_{\text{вих}} = f(\omega)$ від функції ω у режимі холостого ходу $R_{\text{н}} = \infty$ та при певному навантаженні $R_{\text{н}} < \infty$. Відхилення характеристики 2 від лінійного закону зумовлене тим, що зі збільшенням швидкості обертання зростає струм якоря. Поперечні ампер-витки якоря під віддаленим краєм полюса збільшують індукцію, яка при $\omega > \omega_{\text{д}}$ досягає стадії насичення. Це означає, що подальші зміни індукції перестають бути пропорційними ампер-виткам. У той же час, під набігаючим краєм полюса

відбувається зменшення індукції, пропорційне ампер-виткам. У результаті магнітний потік зменшується, і характеристика 2 відхиляється від лінійного закону.

Таким чином, кожному заданому значенню R_H відповідає певний діапазон швидкості від нуля до ω_d , в межах якого напруга є лінійною функцією швидкості.

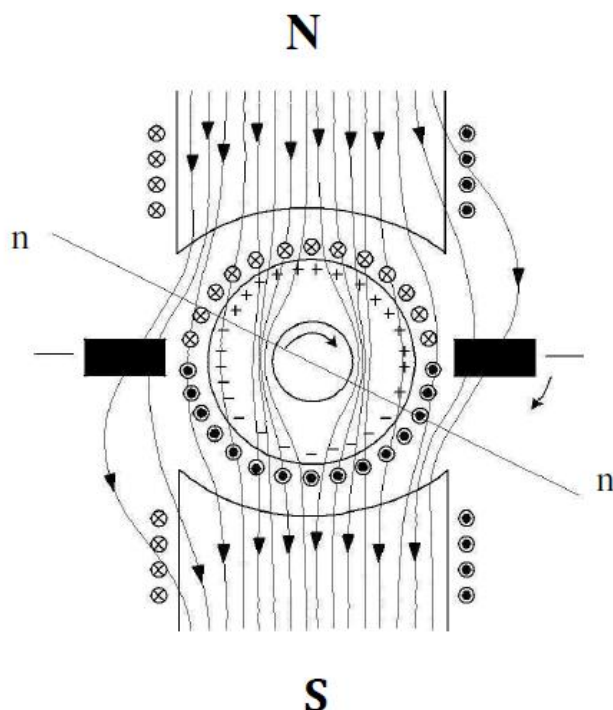


Рисунок 34 - Магнітне поле ТГПС

2.5 Електромагнітне гальмо

2.5.1 Пристрій і принцип дії електромагнітного гальма

Електромагнітні гальма (ЕМГ) сьогодні широко використовуються як прилади для вимірювання моментів на валу досліджуваних машин, як електричних, так і неелектричних. Крім того, вони застосовуються для створення змінних навантажень на різні механізми та визначення їхнього коефіцієнта корисної дії. Магнітна система гальма складається з хрестовини, на осердя якої встановлені чотири котушки збудження, та полюсів зі здвоєною конструкцією, в повітряному зазорі між якими обертається сталевий диск, закріплений на валу досліджуваної машини.

Збудження ЕМГ здійснюється постійним струмом таким чином, щоб полярність полюсів чергувалась: N — S — N — S. Магнітний потік від одного полюса до іншого проходить через сталевий диск. У цьому обертовому диску виникають вихрові струми, взаємодія яких із магнітним потоком формує гальмівний момент.

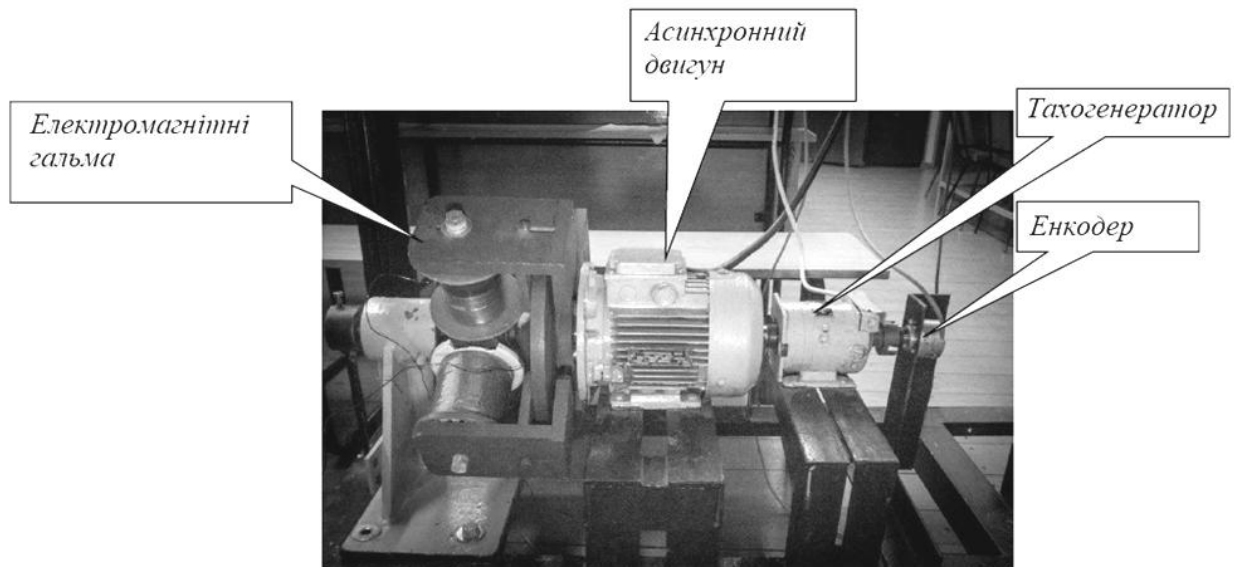


Рисунок 35 - Зовнішні вигляд електромагнітних гальм, асинхронного двигуна та датчиків швидкості

2.5.2 Розрахунок потужності ЕМТ

Методика розрахунку потужності ЕМТ з урахуванням його конструктивних властивостей.

Вихідні дані:

Конструктивні параметри та номінальні характеристики електромагнітів постійного струму (обмоток збудження):

- Діаметр котушок $d_{03}=0.0835$, (М);
- Число витків $w = 500$;
- Номінальний струм обмотки збудження 1:3.5, (А);
- Матеріал (сталь);
- Число дисків ЕМТ $N_d = 1$;
- Питома електрична провідність γ , (См/м);
- Абсолютна магнітна проникність сталі μ , (Гн/м);

- Число пар полюсів обмоток збудження $p = 2$;
- Радіус диска ЕМТ до полюсів $r = 0.12$ (м);
- Кутова швидкість обертання диска $\omega_{об} = 140$ (рад/с);
- Повітряний зазор між диском ЕМТ та обмоткою збудження 5:2, (мм);
- Товщина диску ЕМТ $h = 0.018$, (м);
- Зовнішній та внутрішній радіуси диска ЕМТ $R_{ЗМТ} = 0.16$, $R_{ВМТ} = 0.028$, (м).

Амплітуда поля збудження $H_{0з}$ з урахуванням конструктивних особливостей диска обчислюється за формулою (2.9):

$$H_{0з} = \frac{I \cdot w \cdot \mu_0 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \omega_{об}}{4 \cdot \mu \cdot n \cdot \sigma \cdot h \cdot (R_{ЗМТ} - r_{ЗМТ})} = 34,487 \quad (2.9)$$

Полюсний поділ 15 для довільного числа пар полюсів обчислюється за формулою (2.10):

$$\tau = 2 \cdot r \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot p}\right) = 0.00328 \quad (2.10)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{t} = 955.182 \quad (2.11)$$

Модуль вектора миттєвої швидкості будь-якої точки диска ротора ЕМТ, що обертається з кутовою швидкістю ω , визначається формулою (2.12):

$$V_c = \omega_{рад} \cdot r = 16.1 \quad (2.12)$$

$$K1 = \gamma_0 \cdot \mu \cdot \omega_{рад} = 9.856 \cdot 10^5 \quad (2.13)$$

$$K2 = \gamma_0 \cdot \mu \cdot V_c \cdot \alpha = 1.083 \cdot 10^8 \quad (2.14)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{K1 + K2}{2}} = 7.391 \cdot 10^3 \quad (2.15)$$

$$C1 = \frac{2\lambda \cdot \alpha^3 \cdot \delta_0^2 \cdot \mu r^2 \cdot H_{0з}}{(\alpha^2 \cdot \delta_0 \cdot \mu r - 2\lambda)^2 - \alpha^4 \cdot \delta_0^2 \cdot \mu r^2} = -3.308 \cdot 10^4 \quad (2.16)$$

$$C2 = \frac{2\lambda \cdot \alpha \cdot \delta_0 \cdot \mu r \cdot H_{0з} \cdot (\alpha^2 \cdot \delta_0 \cdot \mu r - 2\lambda)}{(\alpha^2 \cdot \delta_0 \cdot \mu r - 2\lambda)^2 - \alpha^4 \cdot \delta_0^2 \cdot \mu r^2} = -3.281 \cdot 10^3 \quad (2.17)$$

$$k1 = \lambda \cdot C1 - \lambda \cdot C2 = -1.98 \cdot 10^6 \quad (2.18)$$

$$k1 = -\lambda \cdot C1 - \lambda \cdot C2 = 4.869 \cdot 10^8 \quad (2.19)$$

$$k3 = \sqrt{k1^2 + k2^2} = 4.869 \cdot 10^8 \quad (2.20)$$

Підсумкова сумарна потужність ЕМТ:

$$P_{\text{емг}} = N_d \cdot \left(t \cdot \frac{k_3^2}{\lambda \cdot \gamma_0} \right) \cdot ((R_{\text{емг}} - r_{\text{емг}}) + h) = 3,957 \cdot 10^3 . \quad (2.21)$$

Електромагнітний момент ЕМТ:

$$M_{\text{емг}} = \frac{P_{\text{емг}}}{\omega} = 28,62 \text{ Н} \cdot \text{м} . \quad (2.22)$$

2.6 Лабораторне обладнання

Складання лабораторного стенду почалося з установки на лабораторний стіл обладнання, а саме:

- . Автоматичний вимикач (252 (трёхфазний) I (28 (однофазний)));
- . Перетворювач частоти Micromaster 440;
- . Асинхронний двигун 5A80MA4;
- . Електромагнітне гальмо;
- . Тахогенератор ТМГ-ЗОП;
- . Кодовий диск (Енкодер інкрементальний);
- . Датчик Швидкості;
- . Гальмівний резистор;
- . Запобіжник тугоплавкий.

Установка проводилася за принциповою схемою, представленою Рисунок 36

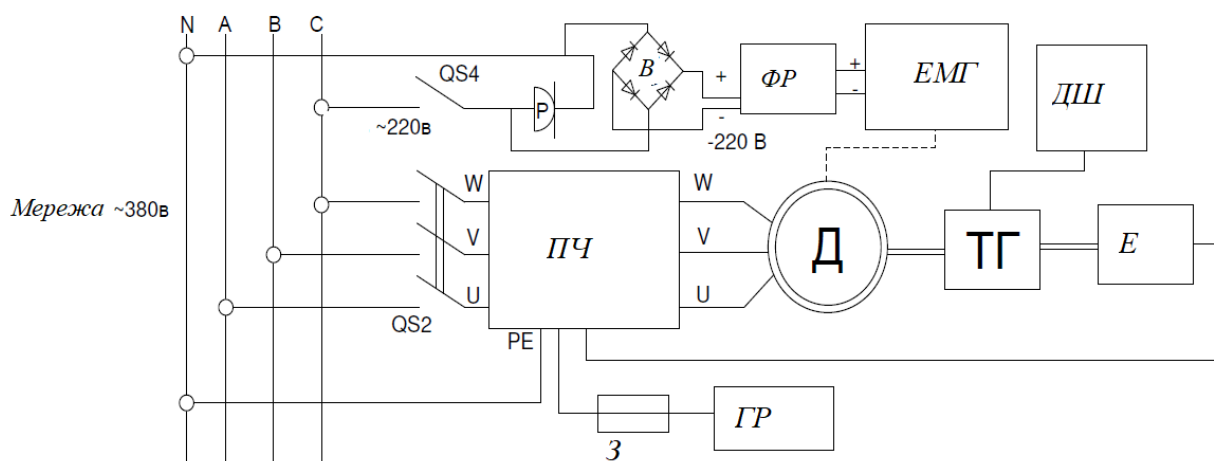


Рисунок 36 - Принципова електрична схема лабораторного стенду

Таблиця 2.3 - Літерні позначення схеми

Літерні позначення	Розшифровка
ПЧ	Перетворювач частоти
Д	Асинхронний двигун
ТГ	Тахогенератор
ЕМГ	Електромагнітне гальмо
ДС	Датчик швидкості
Е	Кодовий ДИСК
Q32, Q34	Автоматичний вимикач
Р	Розетка 220V
PE	Земля
З	Запобіжник тугоплавкий
ГР	Гальмівний резистор
В	Випрямляч
ФР	Фазовий регулятор

Встановивши обладнання на лабораторний стенд, перед НаМ постала задача його запуску та синхронізації з персональним комп'ютером для обміну

даними. Для запуску перетворювача частоти Micromaster 440 необхідно використовувати програмне забезпечення Siemens «STARTER».

Програмне забезпечення для роботи з перетворювачем частоти Micromaster 440 — Siemens «STARTER».

Налаштування та параметризація перетворювача можуть здійснюватися як через панель керування BOP (Basic Operator Panel), так і за допомогою персонального комп'ютера, використовуючи спеціальні програмні інструменти, такі як DriveMonitor або STARTER, а також адаптер інтерфейсу USB/RS-485.

Програмне забезпечення «STARTER» допомагає ефективно виконувати параметризацію, введення в експлуатацію, діагностику та обслуговування обладнання. Важливою особливістю є можливість імпортувати всі дані з електронних таблиць, пов'язаних з компонентами системи приводу. Це значно прискорює налаштування, мінімізує ризик помилок і скорочує витрати в цілому. Завдяки інтегрованим функціям тестування можна перевірити конфігурацію та автоматично оптимізувати процес роботи. Значення завантаження і реальні значення можуть записуватися та відображатися в часовому й частотному доменах.

Крім того, «STARTER» забезпечує зручний графічний інтерфейс для наочного представлення конфігурації та комфортного використання. Система також автоматично генерує звіти про прийом у сфері безпеки, що спрощує документацію та гарантує дотримання стандартів.

Щоб визначити значення параметра, потрібно зайти до відповідного меню пристрою. Це означає, що для перегляду значення можна скористатися кнопками базової панелі оператора та вивести інформацію на індикатор.

Кожен параметр має дозволений діапазон змін і початкове значення, яке заздалегідь задається на заводі-виробнику. Частотний перетворювач Micromaster 440 містить близько 2000 різноманітних параметрів для налаштування роботи системи.

Параметри бувають двох видів:

параметри із індексом «Г» – призначені тільки для перегляду,

параметри із індексом «Р» – дозволяють змінювати значення.

Змінювані параметри слугують для керування роботою перетворювача, у той час як ті, що тільки читаються, дають змогу контролювати стан і функціонування самого перетворювача та двигуна.

Для зручності роботи з великою кількістю параметрів їх поділили на 23 групи. Управління та індикація параметрів здійснюється через досить просту базову панель оператора. За її допомогою переглядати параметри можна лише послідовно, відповідно до їхніх номерів. Наприклад, щоб змінити номер параметра на одиницю, потрібно натискати кнопку "більше" або "менше". Якщо потрібно перейти від параметра P0002 до P0502, доведеться натиснути кнопку майже 500 разів. Однак варто зазначити, що при тривалому натисканні кнопки "більше" чи "менше" відбувається прискорене гортання списку параметрів.

Для зручності можна вибрати окрему групу параметрів, наприклад, ту, що стосується роботи асинхронного двигуна. У цьому випадку будуть відображатися лише параметри, пов'язані саме з цією групою. Кількість параметрів, які відображаються при переходах між ними, можна регулювати за допомогою одного з п'яти рівнів доступу до параметрів групи.

Доступні такі рівні:

1. Список параметрів, визначених користувачем – користувач самостійно формує набір параметрів, до яких часто звертається. Це значно прискорює процес налаштування перетворювача частоти.

2. Стандартний – набір основних параметрів для налаштування роботи приводу в технологічному процесі, а також забезпечення його зв'язку із зовнішніми системами керування через клема перетворювача.

3. Розширений – дозволяє виконувати налаштування входів/виходів перетворювача, вибирати функціональні можливості пристрою та налаштовувати зв'язок через шину Profibus.

4. Експертний – дає можливість змінювати всі налаштування перетворювача, які впливають на роботу приводу в технологічному процесі, проводити точну калібрування, а також виконувати діагностику самого приводу та внутрішніх контурів регулювання й управління. Цей режим призначений для висококваліфікованого персоналу.

5. Сервісний – використовують для діагностики роботи системи управління приводом з метою виявлення несправностей або виконання спеціальних переналаштувань приводу для виконання специфічних завдань.

Звичайному користувачеві цей набір недоступний – може бути захищений паролем.

Вибравши групу параметрів та рівень доступу (що змінює кількість доступних для перегляду або зміни параметрів у групі) можна обмежити робоче меню параметрів лише необхідним на даний момент набором. Рівень доступу задається значення параметра з ім'ям (номером) P0003. Не всі параметри можна змінювати, коли двигун вже працює, тому змінювати значення параметрів слід тільки при зупиненій роботі приводу!

3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА РОЗІМКНУТОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ПЧ-АД

3.1 Методика дослідження скалярного керування частотно-регульованого електроприводу за допомогою базової оперативної панелі «ВОР»

Мета роботи:

Вивчити керування електроприводом за допомогою базової оперативної панелі «ВОР».

Програма роботи:

1. Ознайомитись з методом налаштування перетворювача MICROMASTER 440, за допомогою базової оперативної панелі «ВОР»;
2. Запуск частотно-регульованого електроприводу;
3. Регулювання швидкості електроприводу, завдання частоти.

3.1.1 Порядок роботи

1. Ознайомитися із зовнішнім виглядом та призначенням кнопок базової оперативної панелі (Рисунок 38 та таблиця 3.1 відповідно)

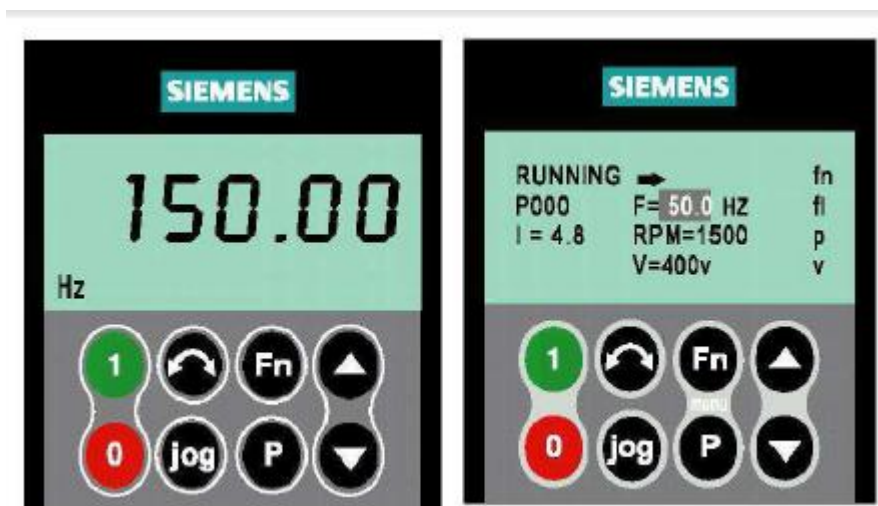





Рисунок 38 – Зовнішній вигляд базової оперативної панелі

Таблиця 3.1 – Призначення клавіш базової оперативної панелі оператора

Клавіша	Функція	Призначення
	Індикатор стану	LCD показує установку або параметр, з якої перетворювач працює в даний момент.
	Пуск	При натисканні клавіші перетворювач двигуна запускається. Ця клавіша є за замовчуванням пасивною. Клавішу активують установкою P0700=1
	Стоп двигуна	OFF1 - Натискання кнопки призводить до зупинки перетворювача по вибраній рампі швидкості. За промовчанням клавіша пасивна, активується установкою P0700 = 1. OFF2 - Подвійне натискання (або тривале утримання) викликає вільний вибіг електродвигуна до зупинки.
	Зворотне обертання	Натискання цієї кнопки викликає реверсування (зміна напрямку обертання) електродвигуна відображається мінус (-) або Реверс обертання миготливою десятковою точкою. За промовчанням клавіша пасивна, активізується установкою P0700 = 1.
	Поштовховий режим	Натискання цієї клавіші при зупиненому перетворювачі забезпечує пуск електродвигуна із заданою ЛОО-частотою. Апу Після відпускання клавіші перетворювач Натискання клавіші про при працюючому перетворювачі з годину електродвигуном, не призводить ні до яких дій
	Функції	Ця клавіша може використовуватися для рег відображення додаткової інформації. Клавіша повинна натискатися та утримуватися протягом 2 секунд. Вона вказує при роботі наступне: 1. Напруга ланки постійного струму про (Позначено буквою d) в (V); 2. Вихідний струм (A); 3. Вихідна частота (Hz);

		4. Вихідна напруга (V); 5. Величину (обрану в P0005).
	Доступ до параметрів	Натискання цієї клавiші забезпечує доступ до параметрів та налаштувань приводу
	Збільшення значення	Для зміни МА завдання частоти за допомогою ВОР необхідно встановити P1000= 1
	Зменшити значення	Натискання цієї клавiші зменшує відображуваного значення. Для зміни завдання частоти за допомогою ВОР потрібно встановити P1000 = 1

3.1.2 Запуск частотно-регульованого електроприводу

- На перетворювачі встановлюється базова панель оператора.
- Включаються автоматичні вимикачі 051, 052;
- На перетворювачі натискається клавiша «Доступ до параметрів» для доступу до параметрів;
- Клавiша "Збільшити значення" натискається до появи необхідного параметра;
- Клавiша "Доступ до параметрів" натискається для доступу до значення;
- Клавiші "Збільшити значення" та "Зменшити - значення" натискаються до встановлення необхідного значення;
- Натискається клавiша «Доступ до параметрів» для повернення та запису значення;
- Аналогічним чином вводяться значення наступних параметрів (таблиця 3.2);
- Клавiша "Збільшити значення" натискається до появи параметра P0000;
- Клавiша "Доступ до параметрів" натискається для виходу з режиму параметрування та запуску;
- Клавiша «Пуск двигуна» натискається для запуску двигуна;

-Клавіші "Збільшити значення" та "Зменшити значення" натискаються для встановлення необхідного значення частоти;

-Клавіша «Стоп двигуна» натискається для зупинки двигуна;

-Вимикаються автоматичні вимикачі (051, 052).

Таблиця 3.2 – параметри для швидкого параметрування

Параметр	Значення
P0010	1 - швидке параметрування
P0100	0 - потужність кВт, частота 50Гц
P0304	380 - номінальна напруга двигуна встановлюється у вольтах
P0305	2,8 - номінальний струм двигуна, встановлюється в амперах
P0307	1,1 - номінальна потужність кВт
P0310	50 - номінальна частота двигуна, встановлюється в Гц
P0311	1410 – номінальна швидкість двигуна (об/хв)
P0700	1 – операторська панель
P1000	1 – операторська панель
P1080	5 – Мінімальна частота. Встановлює мінімальну частоту двигуна Гц
P1082	50 - Максимальна частота двигуна. Встановлює максимальну частоту двигуна Гц.
P1120	10 - Час розгону (с). Час, за який двигун розганяється із зупиненого стану до максимальної швидкості
P1121	10 – Час гальмування (с). Час, за який двигун загальмується з максимальної швидкості до повної зупинки
P3900	1 - завершення швидкого введення з розрахунком двигуна та заводськими установками (рекомендується).

Завдання:

- Ввести параметри в перетворювачі;
- запустити частотно-регульований електропривод;
- встановити частоту: 10 Гц, 20 Гц, 30 Гц, 40 Гц, 50 Гц.

3.2 Скалярне керування частотно-регульованого асинхронного електроприводу через BOP-Link RS485 (з комп'ютера)

Мета роботи: Вивчити управління частотно-регульованого асинхронного електропривода через BOP- Link RS485 (з комп'ютера). Дослідження динамічних регульовальних характеристик.

Програма роботи:

1. Ознайомитись із конструкцією електромагнітного гальма (ЕМТ), двигуна, тахогенератора, перетворювача;
2. Підготовка комплексу до запуску електроприводу;
3. Зняття регульовальних характеристик динаміці.

Порядок роботи:

1. Ознайомитись із зовнішнім виглядом панелі зв'язку MICROMASTER440 з персональним комп'ютером;
2. Підключається до комп'ютера перехідник RS485(COM)-USB» точно відведене йому місце (для збереження черговості порту);



Рисунок 39 - Зовнішній вигляд перехідника RS485(COM)-USB MICROMASTER440 з персональним комп'ютером (PC MMA440 Connection)

3. Вмикаються автоматичні вимикачі 051, 052;
4. Вмикається персональний комп'ютер;
5. Запускається програма «STARTER» на робочому столі;
6. У вікні «Project Wizard STARTER», що з'явилося, вибирається іконка «Arrandg drive utitse offline»;



Рисунок 40 - Вікно «Project Wizard STARTER»

7. У вікні «Project Wizard STARTER»—> Create new project, вводиться назва проекту та ім'я автора. Наприклад «Project», автор Student;

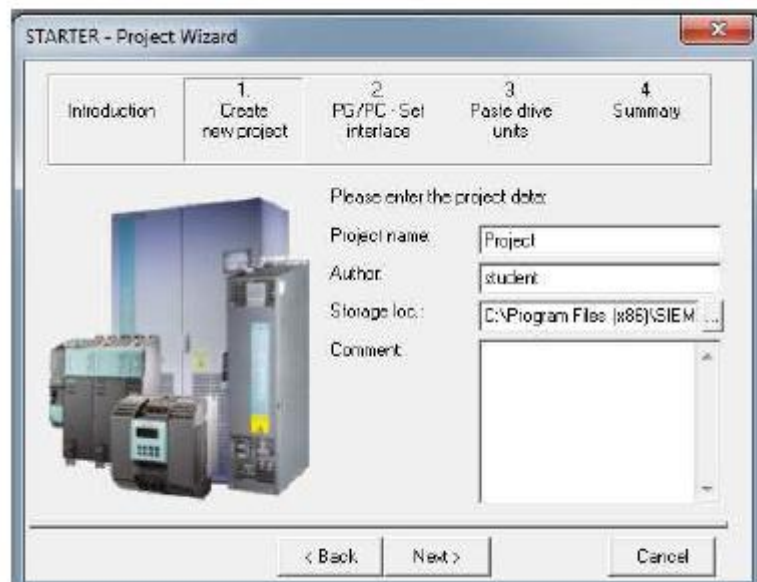


Рисунок 41 - Вікно «Grait new project»

8. У вікні «Project Wizard STARTER — 2 PG/PC Set interfeice», натискається іконка «PG/PC»;

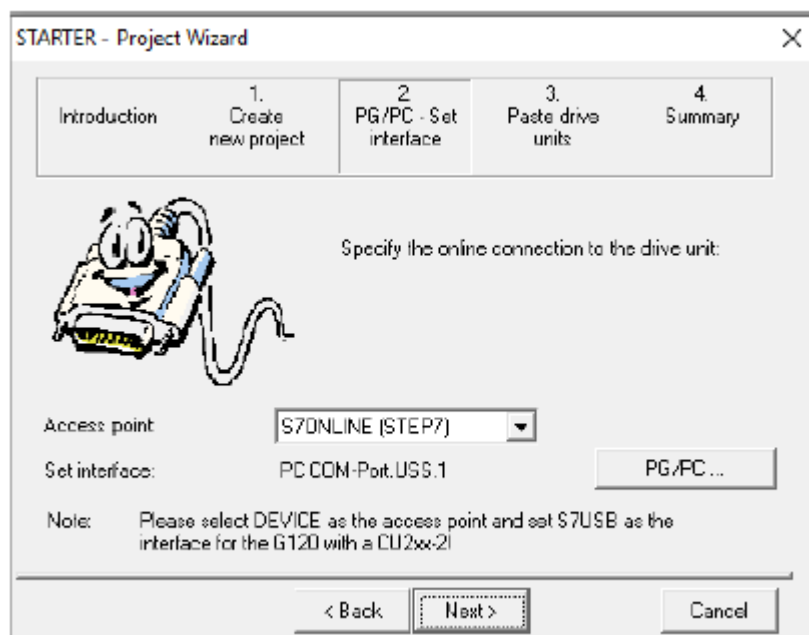


Рисунок 42 - Вікно «Project Wizard STARTER — 2 PG/PC Set interface»

9. У вікні «PG/PC Set interface», що з'явилося, у виділеній зоні «Interface» вибирається вікно «S7ONLINE(STEP7)..... »;

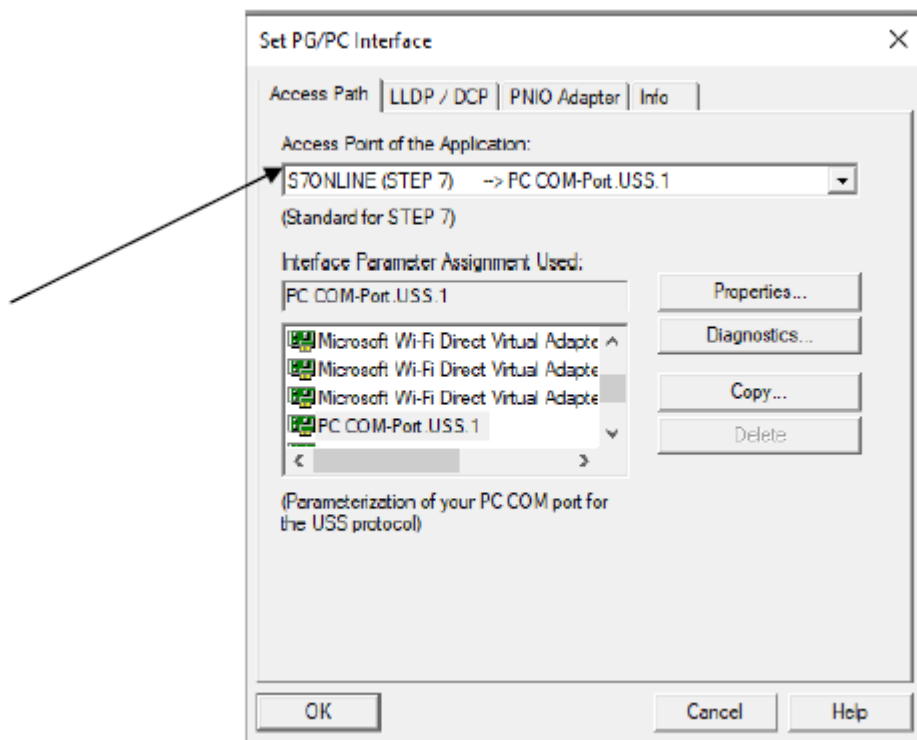


Рисунок 43 - PG/PC Set interface

10. У вікні «Install/Remove Interfec» для інсталяції вибираємо «PC COM-Port (USS)»;

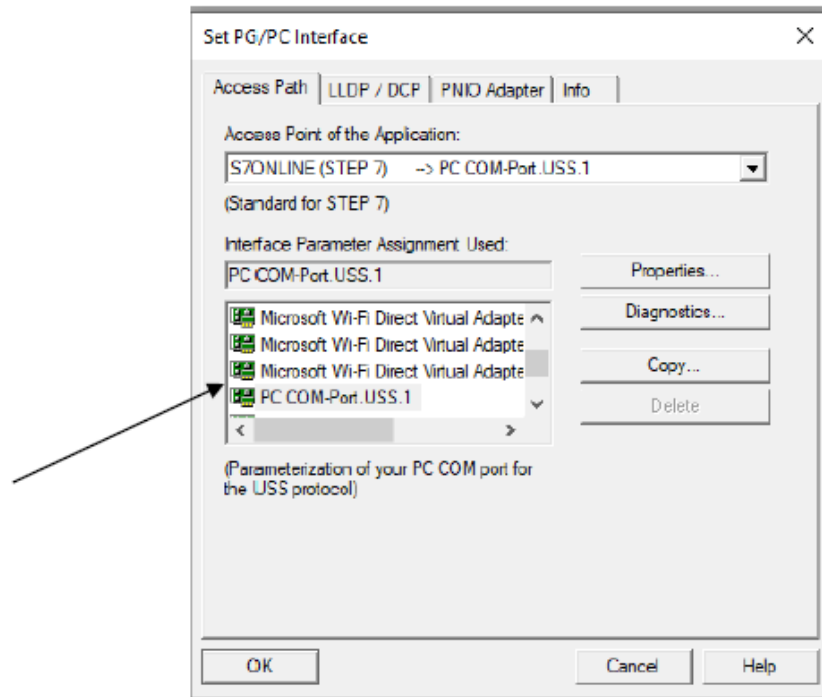


Рисунок 44 - Вікно «Install/Remove Interfec»

11. Закривається вікно «Install/Remove Interfec» іконкою "Properties..." змінюються налаштування COM-порту, залишаємо їх за замовчуванням. Іконкою «Diagnostic...» відкривається вікно «USS network diagnostics», у ньому натискається іконка «Test — slaves»;

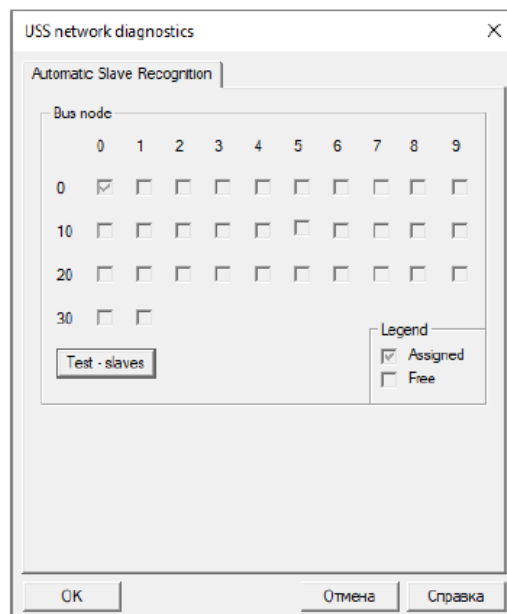


Рисунок 45 - Вікно «05\$ пєбмогК Фаєпоз\$Іс\$»

10. У вікні «Project Wizard Starter —> 4. Summary», переглядаються дані, введені вище. Натискається "Complete";

После окончания теста, в зоне «Bus node» На пересечении Двух нулей появляется галочка. Нажимается «ОК», чтобы закрыть окно. В окне «Set PG/PC

Interface» нажимается «ОК», чтобы закрыть окно. В окне «Project: Wizard Starter» нажимается «Continue».

12. В окне «Project Wizard Starter а 3. Paste drive units » вводятся параметры и адрес преобразователя, например:

- Device: Micromaster;
- Type: 440;
- Version: v2.0;
- Bus addr.: 0;
- Name: Drive unit 0.

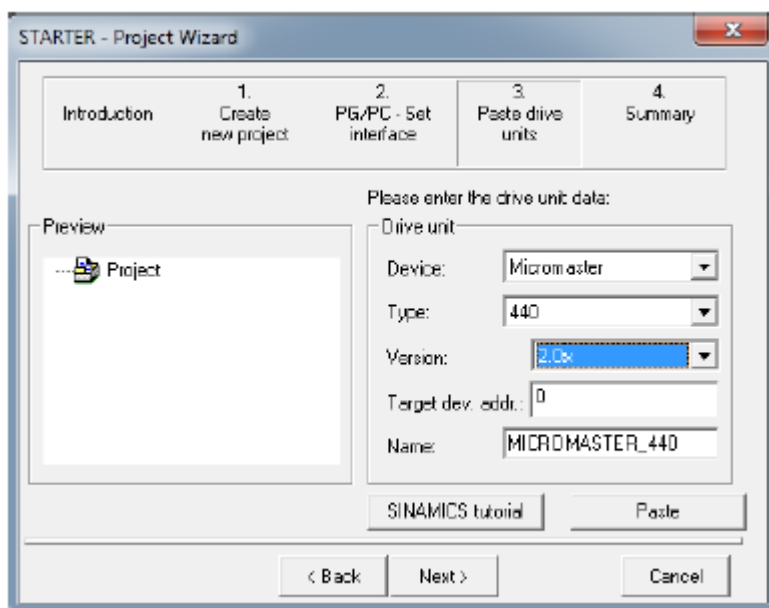


Рисунок 46 - «Paste drive units»

Для установки выбранного преобразователя нажимается Paste.

Продолжить: «next».

13. В вікні "Project Wizard Starter -> 4. Summary", проглядаються дані введені вище. Натискається "Complete";

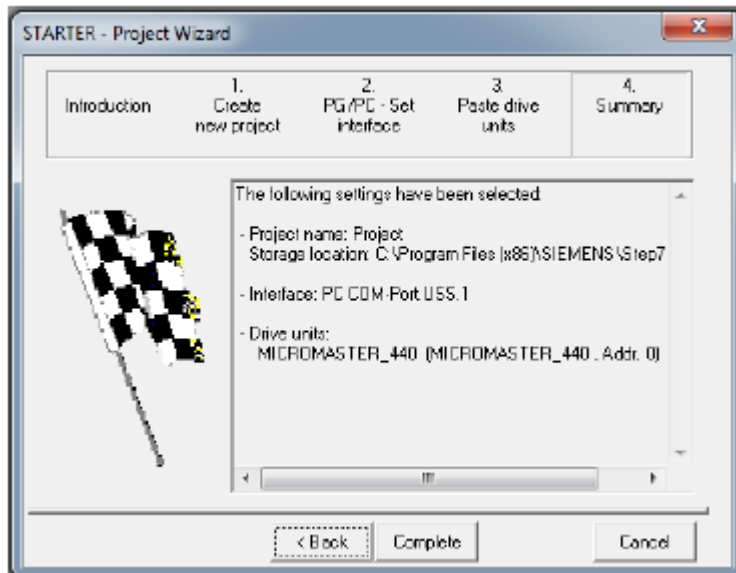


Рисунок 47 - вікно "Project Wizard Starter -> 4, Summary"

14. Відкривається вікно «STARTER» Project, у лівій області вікна знаходиться колонка Project navigator (подібність до «Провідника»). У ній відкривається "MICROMASTER7440", далі відкривається «MICROMASTER7440», в ньому "Drive navigator";

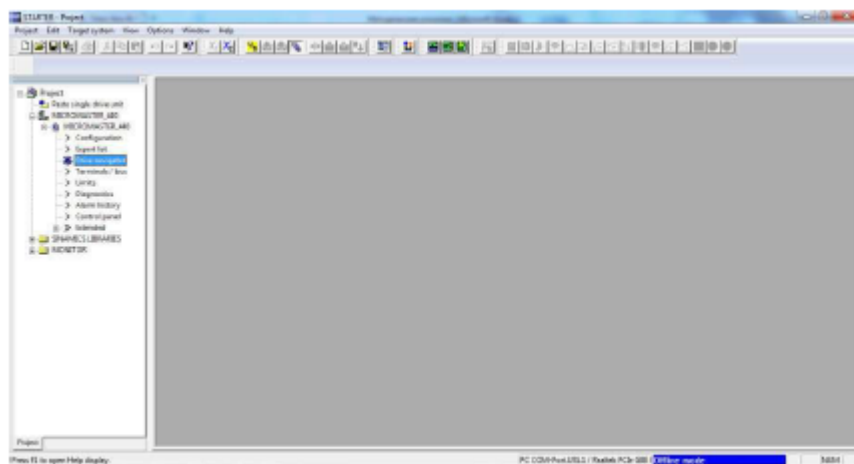


Рисунок 48 - «Вікно STARTER-Project»

15. У правій області вікна з'являється закладка «Drive navigator»;

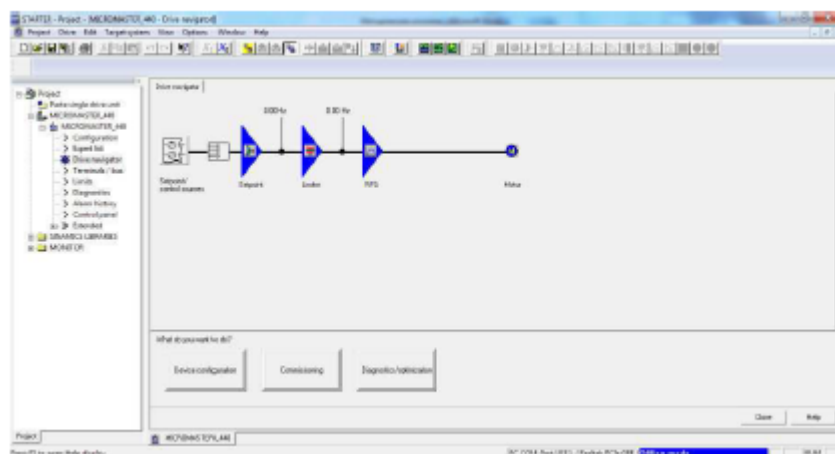


Рисунок 49 - Вікно «Drive navigator»

16. Вибираємо іконку "Device configuration". В вікні, що з'явилося "Device configuration", натискається іконка "Carry out configuration";

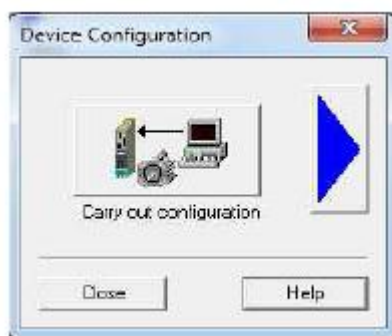


Рисунок 50 – Вікно «Device configuration»

17. У вікні "Reconfiguration drive" підтверджується ре конфігурація Драйвера;

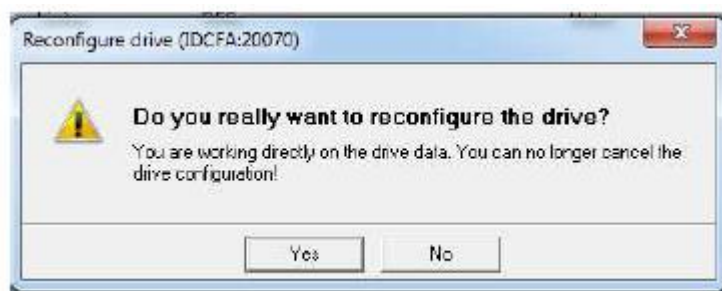


Рисунок 51 - Вікно "Reconfiguration drive"

18. У вікні "Drive configuration - MICROMASTER440 - Standard" встановлюються такі параметри:

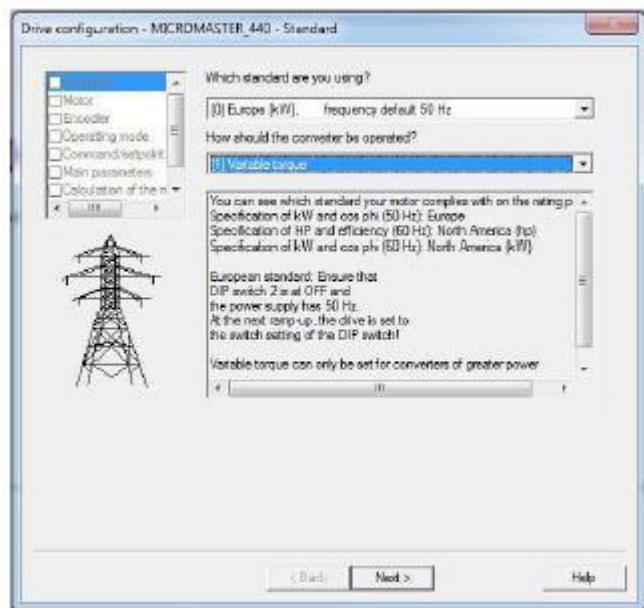


Рисунок - вікно "Drive configuration - MICROMASTER440 - Standard"

- Europe (kW), frequency default 50 Hz (O);
- Variable torque (I);
- Продовжити: "Continue".

19. У вікні "Drive configuration — MICROMASTER 440 -Motor"

встановлюються параметри:

- Motor Type: Asynchronous rotational motor;
- Rated voltage: 380 V;
- Rated current: 2.8 A;
- Rated power: 1,1 kW;
- Rated speed: 1410 rpm;
- Rated frequency: 50 Hz;
- Cos(phi): 0,8;
- Cooling: (Self-cooled: Using shaft mounted);
- Adapt motor temperature: 20 ° C;
- Продовжити: "next".

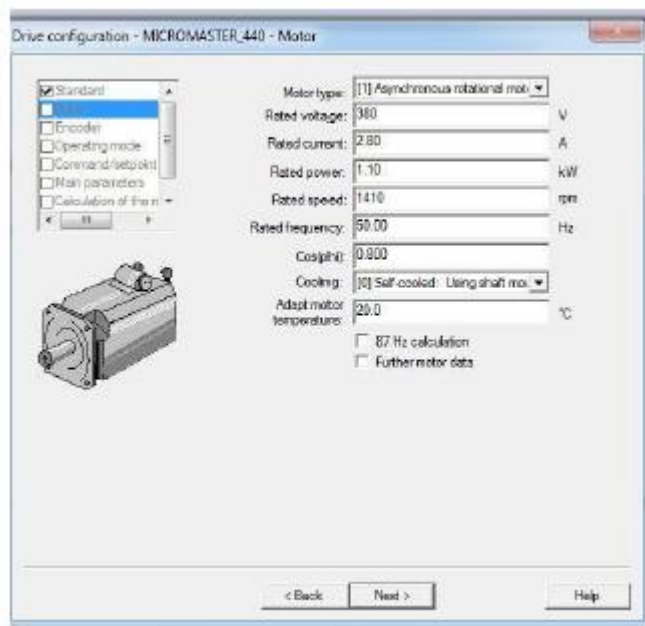


Рисунок 52 - Вікно "Drive configuration - MICROMASTER 440 -Motor"

20. В вікні "Drive configuration - MICROMASTER440 - Encoder"

встановлюються параметри:

- Pulse encoder configuration: Quadrature encoder безвіддзеркалення (2);
- Pulse encoder PPR: 1024;
- Продовжити: "Continue".

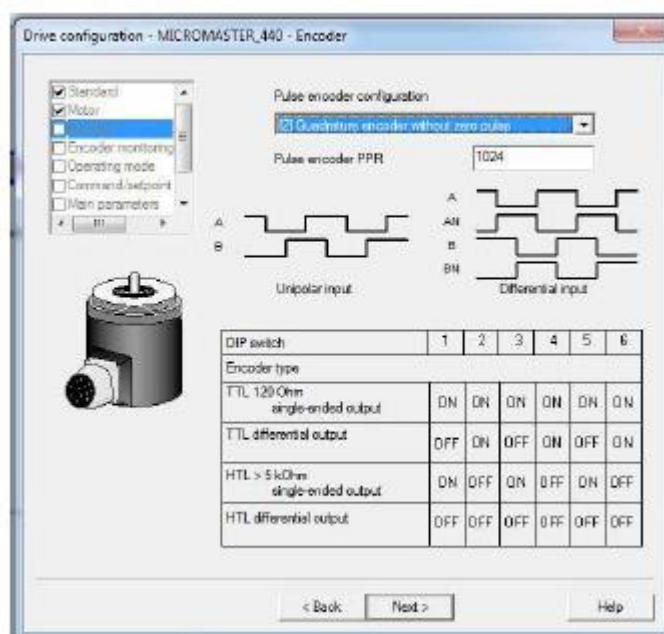


Рисунок 53 - Вікно "Drive configuration - MICROMASTER 440 - Encoder"

21. У вікні "Drive configuration - MICROMASTER 440 – Encoder monitoring" встановлюються параметри:

- Speed signal loss reaction: Change to SLVC (1);
- Permissible speed deviation: 10 Hz;
- Delay of speed signal loss reaction: 10 ms;
- Продовжити: "Continue".

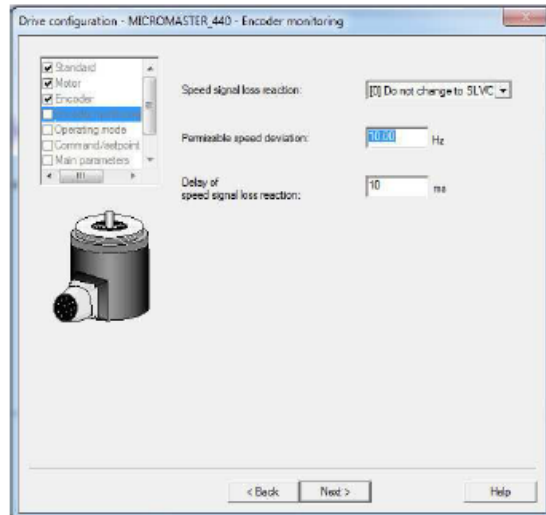


Рисунок 54 - вікно "Drive configuration - MICROMASTER_440 - Encoder monitoring"

22. В вікні "Drive configuration - MICROMASTER 440 - Operating mode" залишаються параметри за замовчуванням;
- V/f with linear characteristic (0);
 - Продовжити: "Continue".

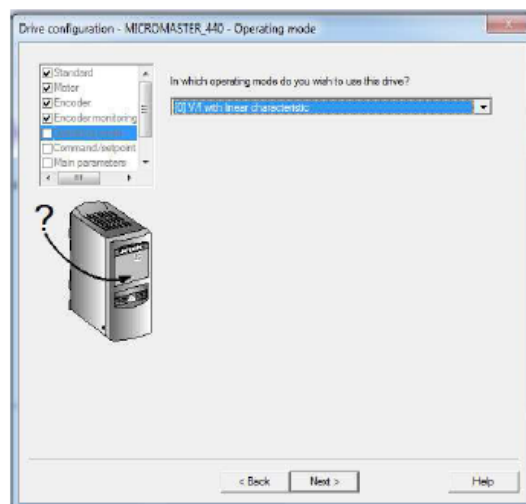


Рисунок 55 - Вікно "Drive configuration - MICROMASTER 440-Operating mode"

23. У вікні "Drive configuration - MICROMASTER_440 —Command source" встановлюються параметри:

- Source of control signals: USS on COM link (5);
- Source of speed set point: USS on COM link (5);
- Продовжити: "Continue".

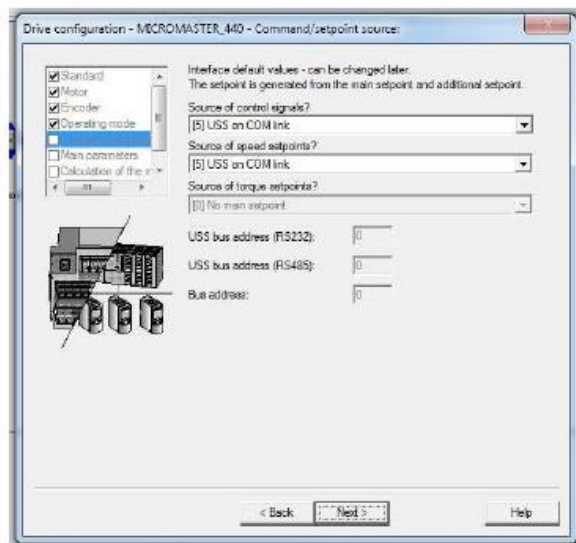


Рисунок 56 - Вікно "Drive configuration - MICROMASTER_440 Command set point source"

24. У вікні «Default setting of the relevant binector/connector» підтверджуються вибрані параметри;



Рисунок 57 - Вікно "Default setting of the relevant binector/connector"

25. В вікні "Drive configuration - MICROMASTER440 - Main parameters" встановлюються параметри:

- Motor overload factor: 150%;
- Min. frequency: 5 HZ;
- Max. frequency: 50 Hz;
- Ramp-up time: 10 s;

- Ramp-down time: 10 s;
- OFF3 ramp-down time: 5 s;
- Продовжити: "Continue".

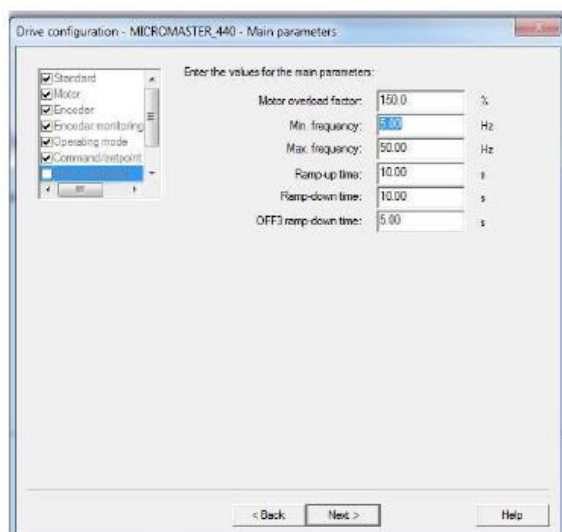


Рисунок 58 — Вікно "Drive configuration - MICROMASTER440 - Main parameters"

26. У вікні "Drive configuration - MICROMASTER_440 - calculation of the motor data" вибираємо "Complete calculation";

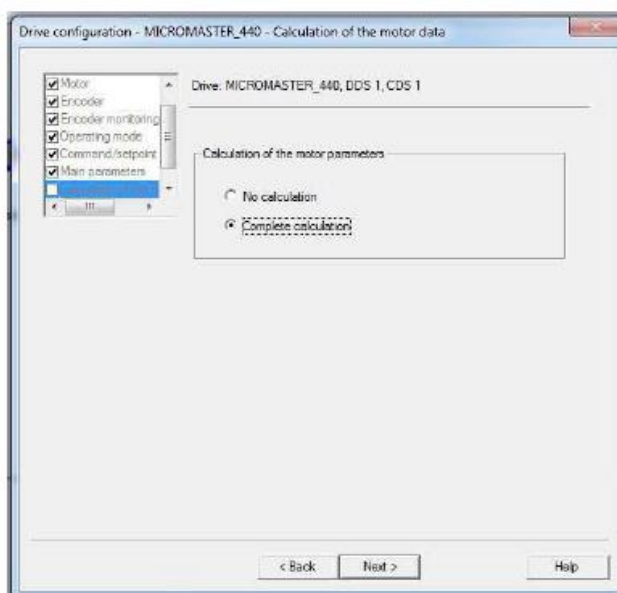


Рисунок 59 - У вікні "Drive configuration - MICROMASTERJMO - calculation of the motor data"

27. В вікні "Drive configuration - MICROMASTER_440 - Completion" переглядаються встановлені раніше параметри та завершується створення проекту. Продовжити: Finish;

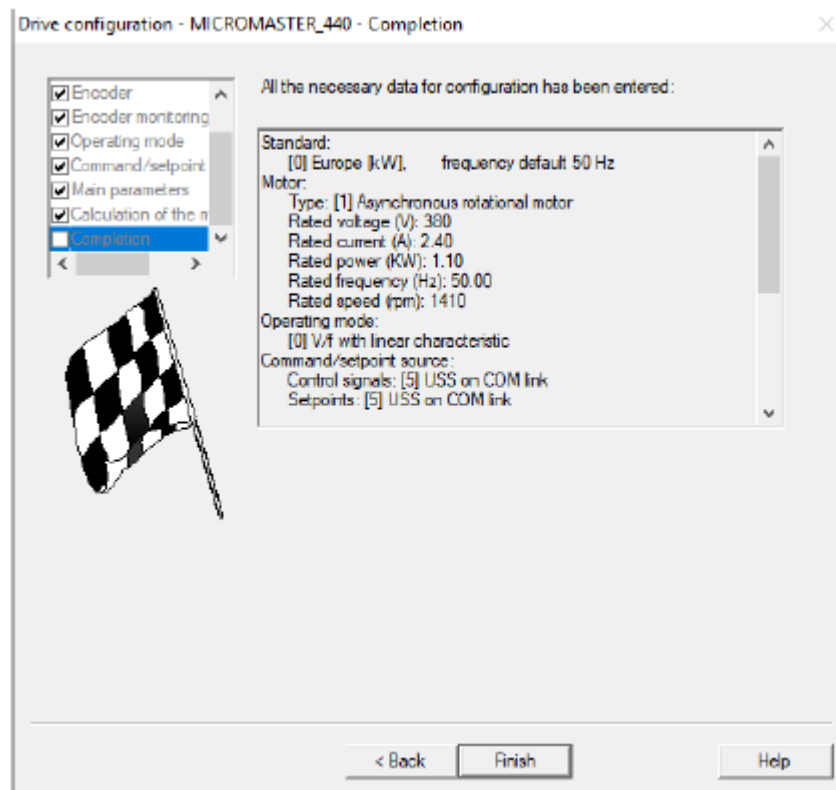


Рисунок 60 - Вікно "Drive configuration - MICROMASTER_440 - Completion"

28. В центрі вікна на закладці «Drive navigator» вибирається іконка "Commissioning" (показана стрілкою).

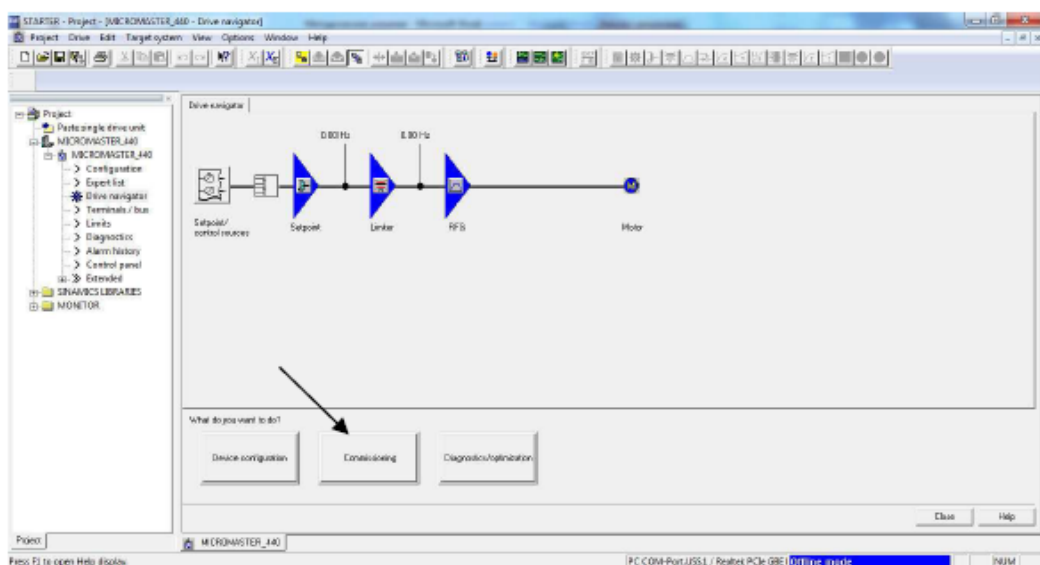


Рисунок 58 - Закладка «Drive navigator»

29. У вікні "Commissioning", натискається іконка "Load data

to drive”.

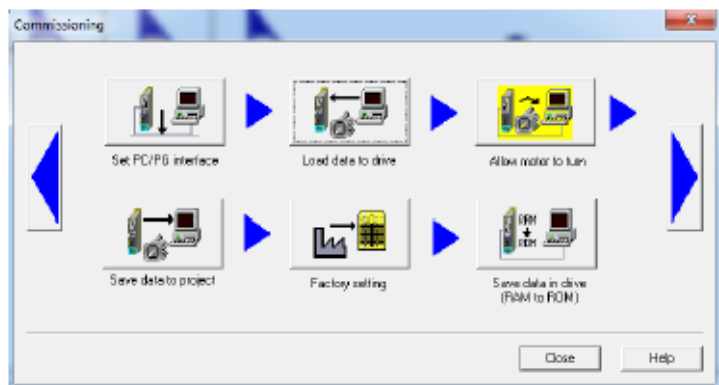


Рисунок 59- Вікно "Commissioning"

30. У вікні «Load data to drive» підтверджується підключення зв'язку для завантаження даних;



Рисунок 60- Вікно "Load data to drive"

31. В вікні "Target Device Selection" підтверджується підготовка до завантаження даних у Micromaster 440;

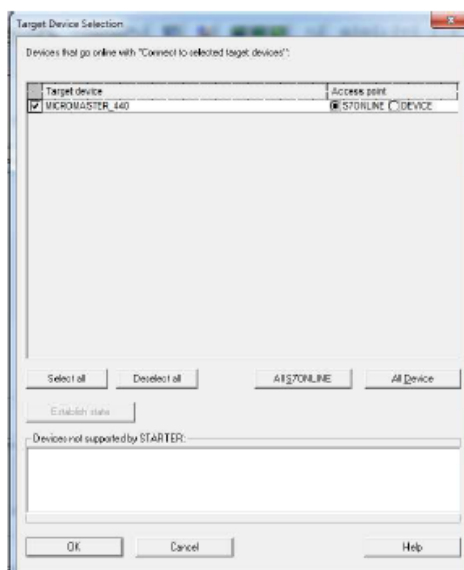


Рисунок 61 - вікно «Target Device Selection»

32. У вікні "Comissioning", натискається іконка "Allo motor to turn"

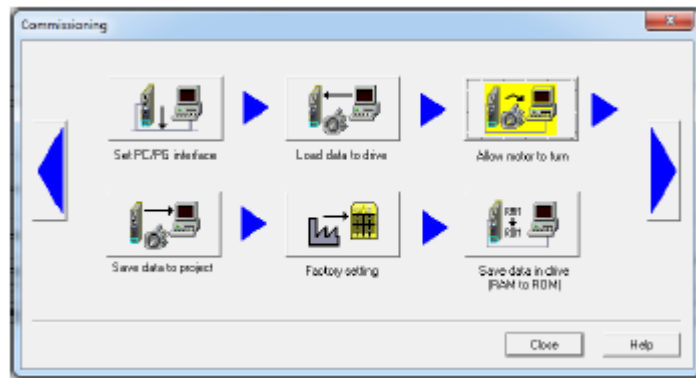


Рисунок 62 - Вікно " Comissioning "

33. У вікні «Assume Control Priority » встановлюється пріоритет зв'язку:

- COM Link (RS 485);
- Failure monitoring: 1000 ms;
- Application monitoring: Про ms;
- Продовжити: "Ассерт".



Рисунок 63 - Вікно "Assume Control Priority"

34. У нижній частині вікна «STARTER - Project 01» з'являється контрольна панель керування двигуном "Control panel". Іконка включає статусну панель, що виводить на екран частину параметрів двигуна та перетворювача;

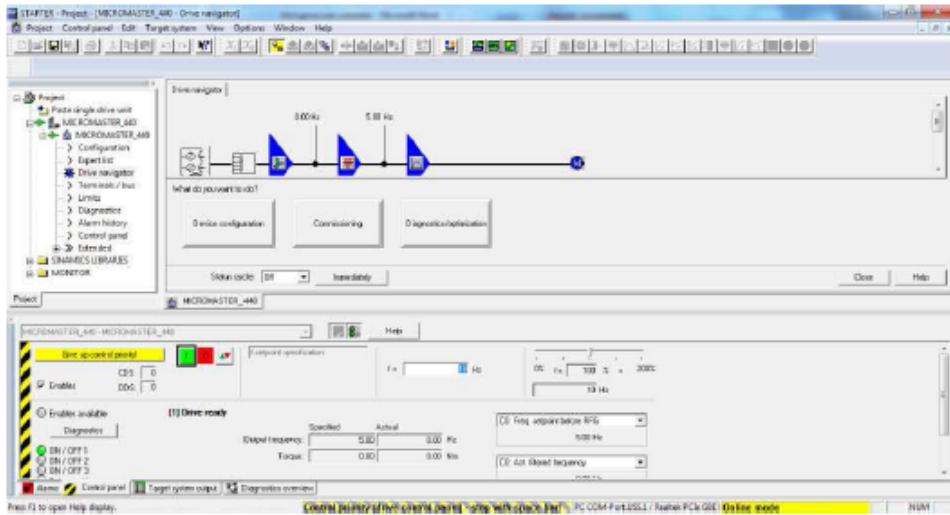



Рисунок 64 – вікно «STARTER - Project 01»

Встановлюється значення частоти, множник (%), потрібне значення частоти на виході перетворювача Для запуску натискається значок 

35. Після запуску двигуна, регулювання частоти відбувається аналогічним способом: Встановлюється значення частоти; Встановлюється множник(%); Потрібне значення частоти на виході перетворювача.

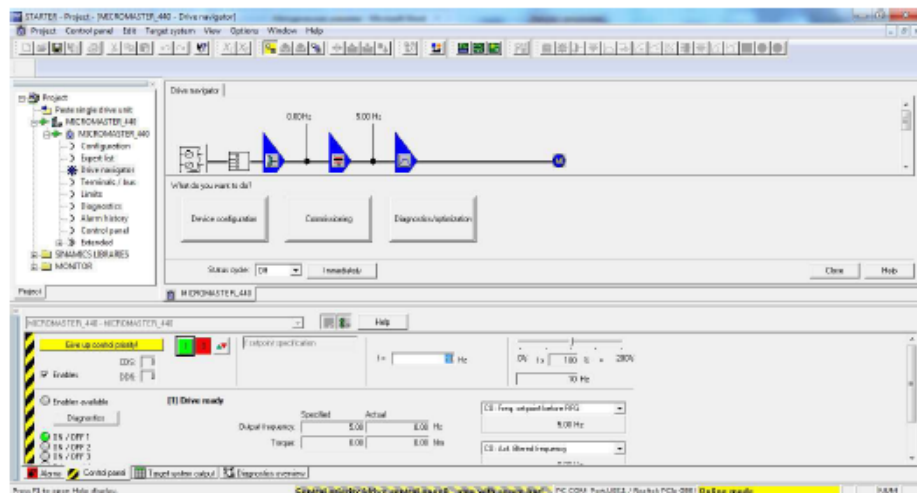


Рисунок 65 - Вікно "STARTER - Project 01"

Під час роботи двигуна можна відстежувати такі параметри:

Навантаження перетворювача; Струм двигуна; Задане (specified) та фактичне (Actual) значення частоти на виході інвертора (Output frequency), а також задане (specified) та фактично (Actual) значення моменту (Torque) на валу двигуна; Можна також відстежити будь-які два параметри в нижче наведеній

Таблиця 3.3 – Параметри лабораторного стенду

Параметр	Переклад
CO: Freq. setpoint before RFG	Уставка частоти перед R.F.G
CO: Act. filtered frequenc	Акт. фільтрована частота
Act, filtered mtnr speed	Акт, Фільтрована швидкість ротора
CO: Ac1. filtered output freq.	Акт. фільтрована частота на виході.
CO: Act. filtered output Voltage	Акт. фільтрована напруга на виході
CO: Act, filtered DC-Link volt.	Акт. фільтрована напруга лінії постійного струму.
Act; filtered output current	Акт. фільтрований струм на виході
CO: Energy consumpt. meter (kWh)	Ваттметр (kWh)
CO: Inverter overload щипання	Рівень навантаження інвертора
CO: Inverter temperature (°C), Measured heat sink temperature	Температура інвертора (°C), виміряна температура на тепловідводі (радіаторі):
CO: Act. output current limit	Акт: ліміт (нрелел) струму на виході
CO: Max: output штабі	Максимальна напруга на виході
CO: Act. active current	Акт. активний потік
CO: Tatal frequency setpoim	Уставка повної частоти
CO: Selected frequenc xetpuint	Уставка вибіркової частоти
CO: Act. Output freq. of the MOP	АКТ. частота на виході МОС
CO: Act.fixed frequency	АКТ. встановлена частота
CO: Freq. setp. after dir. Ctrl	Уставка частоти послс директора Г
CO: Frequenc eetpoint after RFG	Уставка частоти після RFC
CO: Flux gen. current	Струм датчика потоку
CO: Act. filtered torque	Акт. фільтрований крутний момент
CO: Ac}. motor temperatut'e.3rd.	Акт, температура двигуна, 3-тя
Drive data set (DDS)	Набір даних двигуна (DDS)
CO: Freq. sctpoint	Уставка частоти
CO: Act. frequency	Акт. частота
CO: Slip frequency	Частота ковзання
CO: Act. DC-Link voltage	Активна напруга лінії постійного струму
CO: Current setpoint lsd	Уставка струму lsd.
CO: Act. current lsd	АКТ. Струм lsd.
CO: Current setpoint lsq	Уставка струму lsq
CO: Act. current lsq	АКТ. Струм lsq.
CO: Torque septoint (total)	Значення моменту (повне),

Для зупинки двигуна натискається іконка викл



36. Після закінчення роботи відкрити вікно Project-disconnect from target

system». В вікні відбувається розрив зв'язку з перетворювачем; D кіт-чек!
їм Vi'ge' mum



Рисунок 66 - Вікно «Project» (Disconnect from target system)

37. Вимикається персональний комп'ютер;

38. Вимикаються автоматичні вимикачі QS1 та QS2.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні питання

- У лабораторних умовах необхідно дотримуватися високого рівня обережності. Для запобігання травмуванню слід мати ґрунтовні знання щодо будови машин і механізмів, а також суворо керуватися правилами експлуатації обладнання, інструментів та дотриманням норм техніки безпеки.

- Проведення інструктажу з питань охорони праці, а також перевірка відповідних знань здійснюються викладачем у рамках навчальної програми і фіксуються в офіційних журналах реєстрації.

- Розпочинати роботу в лабораторії без попереднього проведення інструктажу на робочому місці категорично заборонено.

- У виробничих, санітарно-побутових приміщеннях лабораторії, а також безпосередньо на робочих місцях необхідно підтримувати чистоту та дотримуватися норм особистої гігієни.

- Особистий одяг, а також спеціальний захисний одяг слід зберігати у гардеробі в персональній шафі.

- Дозволяється виконувати лише ту роботу, яка була доручена завідувачем лабораторії або викладачем, за умови, що вона відповідає вимогам техніки безпеки та не створює ризику для життя і здоров'я.

- У разі виявлення порушення правил техніки безпеки іншими особами чи потенційної загрози для оточення необхідно попередити про це відповідального студента та негайно повідомити завідувача лабораторії про необхідність дотримання правил для забезпечення безпеки праці.

- У випадку отримання травм або раптового погіршення стану здоров'я слід негайно припинити роботу, повідомити про це завідувача лабораторії та звернутися до медпункту для отримання першої допомоги.

- У разі переведення на інший вид роботи, навіть тимчасового характеру, необхідно пройти додатковий інструктаж з техніки безпеки, специфічний для нового типу діяльності.

4.2 Заземлювальні пристрої

4.2.1 Захисні та робочі заземлення

Заземлення можна виконати таким чином, щоб опір контуру забезпечував безпечний струм для життя людини. Відповідно до ПУЕ та правил техніки безпеки, конструктивні елементи електроустановок, які зазвичай не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею, повинні бути заземлені.

Заземлення, що гарантує безпеку обслуговувального персоналу, називається захисним. Захисне заземлення — це спеціально передбачене металеве з'єднання із землею частин установки, що в нормальних умовах не перебувають під напругою, за допомогою провідників і заземлювачів.

Захисному заземленню підлягають такі елементи: станини та кожухи електричних машин і апаратів, приводи апаратів, корпуси світильників, вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів (якщо це допускається умовами роботи релейного захисту), каркаси розподільчих щитів, щитів керування й шаф; металеві огорожі частин, які перебувають під напругою; металеві корпуси кабельних муфт і оболонки кабелів із обох кінців; металеві конструкції закритих і відкритих розподільчих установок, сталеві труби електропроводки тощо.

Окрім захисного заземлення, в електроустановках застосовується робоче заземлення. Робоче заземлення — це передбачене заземлення певної точки електричної мережі з метою забезпечення належного функціонування установки в нормальних або аварійних режимах. Прикладами є заземлення обмежувачів перенапруги та нейтралей трансформаторів.

4.2.2 Конструкція заземлювальних пристроїв.

Усі металеві елементи електроустановок, які зазвичай не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею через пошкодження ізоляції, повинні

бути надійно з'єднані із землею. Таке заземлення називається захисним і призначене для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, захищаючи його від небезпечної напруги при дотику.

Заземлення є обов'язковим у всіх електроустановках при напрузі 380 В і більше для змінного струму, 440 В і більше для постійного струму, а також у приміщеннях із підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та зовнішніх установках при напрузі 42 В і більше для змінного струму, 110–220 В і більше для постійного струму.

Розрахуємо заземлюючий пристрій для відкритого розподільчого устаткування на 220 кВ.

Умовне значення питомого опору ґрунту.

$R_1 = 500 \text{ Ом}$, $\rho_2 = 60 \text{ Ом/м}$, $h=2 \text{ м}$, $t=0,7 \text{ м}$.

Площа ОРУ $121,5 \times 42,0 \text{ м}^2$

Конструкція заземлюючих пристроїв показана на рисунках 12.1-12.2.

Рисунок 12.1 - Заземлювальний пристрій підстанції

Малюнок 12.2 Розрахункова модель

4.2.3 Заземлювальні пристрої тягових підстанцій.

Заземлювальні пристрої (ЗП) тягових підстанцій змінного й постійного струму проектуються за універсальними принципами, проте характеризуються низкою специфічних особливостей.

Контур заземлення підстанції формується з вертикальних заземлювачів, які міцно приваренні до металевої сітки зі сталевих стрічок, розміщеної вздовж периметра. Опори з блискавкозахисними пристроями для зниження опору розтікання імпульсного струму блискавки також підключені до цієї сітки за допомогою зварених сталевих смуг.

З метою запобігання виникненню небезпечних крокових напруг у місцях проходів і проїздів на територію підстанції встановлюються спеціальні елементи, відомі як козирки. Їх виготовляють зі сталевих шин, які розташовують на глибині 1 м і 1,5 м на відстані відповідно 1 м та 2 м від

контура заземлення підстанції (КЗП). Ці шини з'єднуються із КЗП методом зварювання та повинні бути довгими за ширину входу або проїзду на 1 м з кожного боку.

4.2.4 Розрахунок заземлювальних пристроїв

Зробимо розрахунок заземлювального пристрою тягової підстанції, конструкція та модель якого зображені на малюнках 12.1-12.2.

За розрахункову тривалість впливу тв приймемо

$$\begin{aligned}\tau_{\text{в}} &= t_{\text{р.з}} + t_{\text{відкл.в}}, \\ t_{\text{р.з}} &= 0,1 \text{ с}, \\ t_{\text{відкл.в}} &= 0,05 \text{ с}; \\ \tau_{\text{в}} &= 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ с}.\end{aligned}\tag{4.1}$$

Для $\tau_{\text{в}} = 0,15$ знаходимо напругу дотику

$$U_{\text{пр.доп}} = 400 \text{ В}.$$

Коефіцієнт дотику

$$K_n = \frac{M\beta}{\left(\frac{l_{\text{в}}}{a} - \frac{L_{\text{г}}}{\sqrt{S}}\right)^{0,45}},\tag{4.2}$$

де L – довжина горизонтальних заземлювачів;

a - відстань між вертикальними заземлювачами;

M - параметр, що залежить від відношення $\rho_1/\rho_2=500/60=8,3$; $M = 0,806$

S - площа ВРУ 220 кВ, м²

$$K_n = \frac{0,806 \cdot 0,57}{\left(\frac{5}{5} - \frac{750}{\sqrt{121,5 \cdot 42}}\right)} = 0,0437,$$

де $\beta = 57$ - коефіцієнт, що визначає співвідношення опору людини ($R_{\text{ч}}$), до опору розтікання струму від ступнів

$$\beta = \frac{R_{\text{ч}}}{R_{\text{ч}} + 1,5\rho_1},\tag{4.3}$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 500} = 0,57$$

Потенціал на заземлювачі

$$U_3 = \frac{U_{np.\partial on}}{K_n}, \quad (4.4)$$

$$U_3 = \frac{400}{0,0437} = 9141,1 \text{ В},$$

що у межах допустимого (менше 10 кВ).

Опір заземлювального пристрою

$$R_{3.\partial on} = \frac{U_3}{I_3^{(1)}}, \quad (4.5)$$

де струм $I_3^{(1)} = 1845 \text{ А}$, що стікає із заземлювача при однофазному КЗ

$$R_3 = \frac{9141}{1845} = 4,95 \text{ Ом}.$$

Справжній план заземлювального пристрою перетворимо на розрахункову квадратну модель зі стороною

$$\sqrt{S} = \sqrt{121,5 \cdot 42,0} = 71,45 \text{ м}$$

Число осередків по стороні квадрата

$$m = \frac{Lr}{2\sqrt{S}} - 1, \quad (4.6)$$

$$m = \frac{Lr}{2\sqrt{S}} - 1 = 4,24;$$

приймаємо $m=5$.

Довжина смуг у розрахунковій моделі

$$B=71,45/5= 14,3$$

Число вертикальних заземлювачів по периметру контуру

$$n_b = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{1 \cdot l_b}, \quad (4.7)$$

$$n_b = \frac{71,4 \cdot 4}{1 \cdot 15} = 19,04$$

приймаємо $n_b = 19$.

Загальна довжина вертикальних заземлювачів

$$\begin{aligned} L_B &= l_b \cdot n_b, \\ L_B &= 15 \cdot 19 = 285 \text{ м} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Відносна глибина

$$\begin{aligned} \frac{l_b + t}{\sqrt{S}} &\geq 0,1; \\ \frac{15 + 0,7}{71,43} &= 0,219 \geq 0,1; \end{aligned} \quad (4.9)$$

тоді

$$\begin{aligned} A &= 0,385 - 0,25 \frac{l_b + t}{\sqrt{S}}, \\ A &= 0,385 - 0,25 \frac{15 + 0,7}{71,43} = 0,33 \end{aligned} \quad (4.10)$$

за таблицею 4.1 для $p_1/p_2 = 8,3$ $a/l = 1$;

$$\begin{aligned} p &= \frac{h_1 - t}{l_b}, \\ p &= \frac{2 - 0,7}{15} = 0,086 \end{aligned} \quad (4.11)$$

Визначаємо $p_3/p_2 = 1,4$; тоді $p_3 = 1,4 p_2 = 1,4 \cdot 60 = 84$. Загальний опір складного заземлювача

$$\begin{aligned} R_3 &= A \frac{p_3}{\sqrt{S}} + \frac{p_3}{L_r + L_b} \text{ Ом}, \\ R_3 &= 0,33 \frac{84}{71,43} + \frac{84}{784,6 + 285} = 0,468 \end{aligned} \quad (4.1)$$

що менше від допустимого $R_3 = 1,806 \text{ Ом}$.

$$U_{\text{пр}} = K_{\text{п}} \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,12 \cdot 1845 \cdot 0,468 = 103,7 \text{ В}$$

Що менше від допустимого $U_{\text{пр доп}} = 400 \text{ В}$.

4.2.5 Розрахунок блискавкозахисту

Вихідні дані для розрахунку блискавкозахисту (подвійний тросовий 2Т) представлені в таблиці 4.1 та на схемі малюнка 12.3.

Таблиця 4.1 Вихідні дані для розрахунку блискавкозахисту

Тип М/З	Зона	h_x , м	B , м	h_1 , м	h_2 , м	L , м	a , м	tcp год/рік
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2Т	Б	8	-	22	27	30	45	110

Позначення для малюнка 12.3:

L - відстань між опорами тросового блискавковідводу;

h_1, h_2 – висота опор.

Параметрами блискавкозахисту є:

h - повна висота стрижневого блискавковідводу, м;

h_0 - висота вершини конуса стрижневого блискавковідводу, м;

h_x - висота споруди, що захищається, м;

r_0, r_x - радіуси захисту на рівні землі і на висоті споруди, м;

h_c - висота середньої частини подвійного стрижневого блискавковідводу, м;

L - відстань між двома стрижневими блискавковідводами, м;

a - довжина прольоту між опорами троса, м;

h_x - висота опори троса, м;

$r_x + r_x'$ - ширина зони тросового блискавковідведення на рівні, що захищається споруди, м.

1. За формулою для подвійних тросових блискавковідводів однакової висоти визначаються параметри м/з зони Б.

У масштабі зона Б зображується на плані (рисунок 12.3), оскільки $a < 120$ м і $L \leq h$, то для першої опори

$$\begin{aligned}
h_{01} &= 0,92h_1 = 0,92 * 20 = 18,4 \text{ м}; \\
r_{01} &= 1,7h_1 = 1,7 \cdot 20 = 34 \text{ м}; \\
h_{c1} &= h_{01} = 18,4 \text{ м}; \\
r_{c1} &= r_{01} = 34 \text{ м}; \\
r_{x1} &= 1,7(h_1 - 1,1h_x) = 1,7 \cdot (20 - 1,1 \cdot 8) = 19 \text{ м}; \\
r_{cx1} &= r_{x1} = 19 \text{ м}.
\end{aligned}$$

для второй опоры

$$\begin{aligned}
h_2 &= h_{on2} - 2 = 27 - 2 = 25 \text{ м}; \\
h_{02} &= 0,92h_2 = 0,92 * 25 = 23 \text{ м}; \\
r_{02} &= 1,7h_2 = 1,7 \cdot 25 = 42,5 \text{ м}; \\
h_{c2} &= h_{02} = 23 \text{ м}; \\
r_{c2} &= r_{02} = 42,5 \text{ м}; \\
r_{x2} &= 1,7(h_2 - 1,1h_x) = 1,7 \cdot (25 - 1,1 \cdot 8) = 27,5 \text{ м}; \\
r_{cx2} &= r_{x2} = 27,5 \text{ м}.
\end{aligned}$$

При перетині верхньої позначки споруди з лінією в прольоті визначається α

$$\begin{aligned}
\alpha^{(A)}_1 &= \arctg \frac{r_{01}}{h_{01}} = \arctg \frac{34}{18,4} = 61,6^\circ; \\
\alpha^{(A)}_2 &= \arctg \frac{r_{02}}{h_{02}} = \arctg \frac{42,5}{23} = 61,6^\circ.
\end{aligned}$$

2. Визначаються максимальні габарити споруди, що захищається за малюнком 12.3:

$$A = a + 2 r_{cx} = 45 + 2 * 27,5 = 125 \text{ м}.$$

Приймається ціле значення $A = 75 \text{ м}$.

$$B = L + 2 r_{cx} = 30 + 2 * 27,5 = 85 \text{ м}.$$

Приймається ціле значення $= 80 \text{ м}$.

$$A \times B \times H = 125 \times 85 \times 8 \text{ м}.$$

3. Визначається можлива уражаність об'єкта, що захищається, в зоні Б за відсутності блискавкозахисту, $n = 8,51/(\text{км}^2 \cdot \text{рік})$ при $t_{cp} = 110 \text{ год/рік}$:

$$\begin{aligned}
N_A &= [(B + 6h_x)(A + 6h_x) - 7,7h_x^2] n * 10^{-6} = \\
&= [(85 + 6 * 8)(100 + 6 * 8) - 7,7 * 8^2] * 8,5 * 10^{-6} = 0,12 \text{ вражень}.
\end{aligned}$$

Параметри зони Б блискавкозахисту вказані на Рисунок 67.

$A \times B \times H = 125 \times 85 \times 8$ м; $N = 0,12$ вражень.

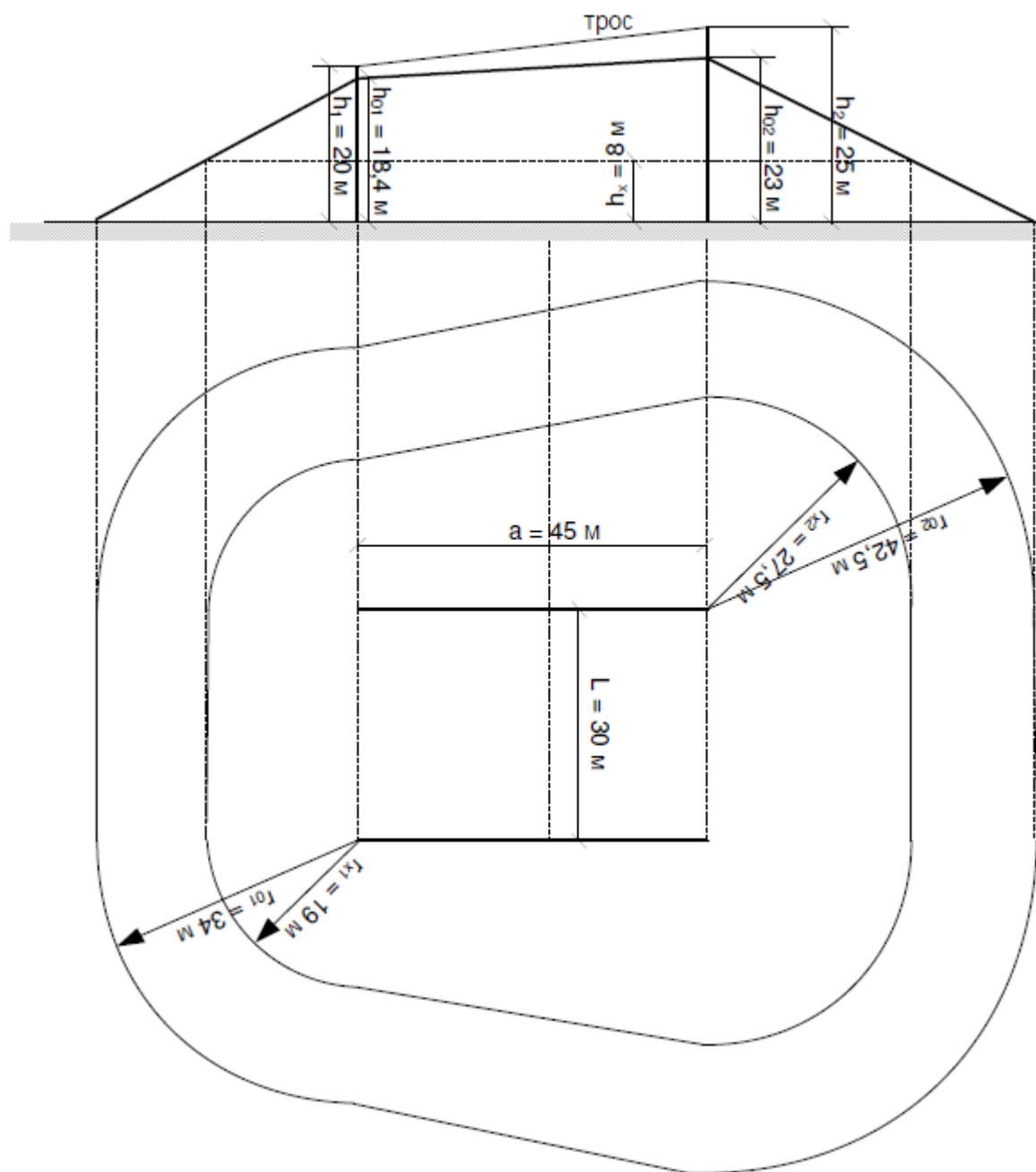


Рисунок 67 - Зона Б захисту подвійного тросового блискавковідведення різної висоти

ВИСНОВКИ

- Здійснено аналіз існуючих перетворювачах частоти (ПЧ), вироблених провідними світовими компаніями. Ці пристрої можуть застосовуватися в частотно-регульованих електричних приводах;

- Виконана робота зтворення проекту стенду на основі перетворювача частоти для проведення лабораторних занять який надає можливість використовувати його як навчальному процесі роботи для студентів технічних навчальних закладів та учнів за спеціальністю «Електроенергетика електротехніка та електромеханіка» так і в наукових дослідженнях;

- Здійснено налагодження обладнання та введення його в експлуатацію з допомогою спеціалізованого прикладного програмного забезпечення;

- Розроблено рекомендації для проведення лабораторних робіт;

- Окрему увагу приділено питанням забезпечення охорони праці обслуговуючого персоналу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1 Казачковський М. М. Автономні перетворювачі та перетворювачі частоти: навч. посіб. [Електронний ресурс] / М. М. Казачковський; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Електрон. текст. дані. – 2-ге вид., випр. та допов. – Дніпро.: НГУ, 2017. – 324 с. (режим доступу: <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/150764?show=full>).

2 Електроніка і мікросхемотехніка: У 4-х т.т. /В.І.Сенько, М.В.Панасенко, Є.В.Сенько та ін. – К.: Обереги. – Т.1. Елементна база електронних пристроїв. – 2000. – 300 с.

3 Шавьолкін О.О., Наливайко О.М. Перетворювальна техніка: Навч. посібник. – Краматорськ: Донбаська ДМА, 2008. – 328 с.

4 Електропривод: підручник/Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченка, п.і. Савченко, О.Ю. Синівський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисеня; за ред. Ю.М. Лавріненка. Видавництво «ЛІРА-К». – К., 2009. – 504 с.

5 Марущак Я.Ю. Синтез електромеханічних систем із послідовним та паралельним корегуванням: навчальний посібник. – Львів, видавництво ну „Львівська політехніка”, 2004. – 312 с.

6 Моделювання електромеханічних систем: підручник/[Чорний О.П., Луговий О.В., Родькін д.й., Сісук Г.Ю., Садовий О.В]. – Кременчук, 2001. – 410 с.

7 Півняк Г.Г. Сучасні частотно – регульовані асинхронні електроприводи з широтно – імпульсною модуляцією: монографія / м.р. півняк,о.в. вовків.- дніпропетровськ: національний гірничий університет, 2006. – 470 с.

8 Bose Bimal K. Power Electronics and AC Drives. – Prentice Hall PTR, 2002. – 711 p

9 Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook. Academic Press. 2001. – 895 p

10 Гандзюк м. П., Желібо є. П., Халімовський м. О. Г. Основи охорони праці: підруч для студ вищих навч закладів за ред. М. П. Гандзюка - до каравела, 2004 - 408 з

11 Серіков Я.О., Коженевські, Л.Ф., Хворост, М.В. Безпека життєдіяльності та охорона праці: підручник : Ч.1: Безпека життєдіяльності. Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, краків: ISBN 978-966-695-529-9