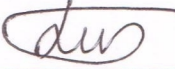


Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

  
(підпис)

I. С. Білюк

«20» 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

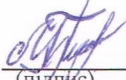
на здобуття ступеня магістра

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

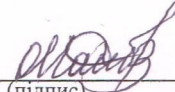
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод  
(назва освітньої програми)

на тему: «Розробка лабораторного стенду дослідження  
електроприводів»

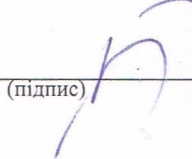
Виконав: студент групи 6372м  
Гребенкін Михайло Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Керівник доц. каф. автоматики, к.е.н.,  
доц. Майборода О.В.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

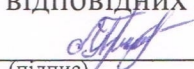
  
(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,  
доц. Ставинський Р.А.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент

  
(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 104с., 5 розд., 12 табл., 27 рис., 1 дод., 21 джерело.

**Ключові слова:** лабораторний стенд, комплектний електропривод, регулятор, лабораторна робота, прилади, структурна схема, функціональна схема, показники якості керування.

Об'єкт дослідження – фізичні явища, які протікають в електроприводі з асинхронним двигуном.

Мета роботи – на основі сучасних комплектних електроприводів провести аналіз і синтез лабораторного стенду по дослідженню асинхронних електроприводів.

Перший розділ присвячений аналізу систем керування асинхронними двигунами і згідно цього зроблена постановка задачі дослідження. У другому розділі здійснено розрахунок та вибір елементів електропривода. У третьому розділі наведено опис лабораторного стенда.

У четвертому та п'ятому розділах розглянути питання з охорони праці та довкілля.

Додатки містять слайди мультимедійної презентації.

## ABSTRACT

Qualification work: 104 p., 5 chapters, 12 tables, 27 figures, 1 appendix, 21 sources.

**Keywords:** laboratory bench, complete electric drive, regulator, laboratory work, devices, structural diagram, functional diagram, control quality indicators.

The object of study is physical phenomena occurring in an electric drive with an induction motor.

The aim of the work is to analyse and synthesise a laboratory bench for the study of induction drives on the basis of modern complete electric drives.

The first section is devoted to the analysis of control systems for induction motors and, accordingly, the research problem is formulated. The second section describes the calculation and selection of drive elements. The third section describes the laboratory testbed.

The fourth and fifth sections deal with occupational health and safety and the environment.

The appendices contain slides of a multimedia presentation.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Вступ.....                                                                                                          | 6         |
| <b>РОЗДІЛ 1. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІННОГО<br/>СТРУМУ З АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ.....</b>           | <b>9</b>  |
| 1.1 Використання асинхронних електродвигунів в електроприводах<br>змінного струму.....                              | 9         |
| 1.2 Регулювання швидкості асинхронного електродвигуна<br>шляхом зміни напруги.....                                  | 11        |
| 1.3 Скалярне частотне керування асинхронними електроприводами .....                                                 | 11        |
| 1.4 Параметричне частотне керування.....                                                                            | 16        |
| 1.5 Частотно-струмовий спосіб керування .....                                                                       | 17        |
| 1.6 Системи векторного керування.....                                                                               | 20        |
| 1.7 Основні види приводів та їх характеристики.....                                                                 | 24        |
| <b>РОЗДІЛ 2. ВИБІР ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ<br/>СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА .....</b> | <b>27</b> |
| 2.1 Призначення та конструктивне виконання ПЧ.....                                                                  | 27        |
| 2.2 Габаритні розміри ПЧ.....                                                                                       | 30        |
| 2.3 Технічні дані перетворювачів частоти.....                                                                       | 31        |
| 2.4 Схеми підключення перетворювачів частоти .....                                                                  | 33        |
| 2.5 Увімкнення ПЧ та рекомендації по його використанні .....                                                        | 34        |
| 2.6 Програмування перетворювача частоти Lenze 8200 .....                                                            | 36        |
| 2.7 Повідомлення про стан привода та коди помилок .....                                                             | 45        |
| 2.8 Особливості програмування перетворювача ETML 371 X2SFA .....                                                    | 48        |
| 2.9 Асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором.....                                                       | 49        |
| <b>РОЗДІЛ 3. ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА .....</b>                                                                    | <b>54</b> |
| 3.1 Структурна схема лабораторного стенда .....                                                                     | 54        |
| 3.2 Склад лабораторного стенда.....                                                                                 | 56        |
| 3.2.1 Датчик швидкості .....                                                                                        | 57        |
| 3.2.2 Тахометр .....                                                                                                | 59        |

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 3.3 Функціональна схема лабораторного стенда ..... | 61  |
| 3.4 Лабораторний практикум .....                   | 63  |
| 3.4.1 Вимоги до виконання лабораторних робіт.....  | 64  |
| 3.4.2 Лабораторна робота №1 .....                  | 66  |
| 3.4.3 Лабораторна робота №2 .....                  | 72  |
| РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....                        | 79  |
| 4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів.....   | 79  |
| 4.2 Розрахунок загального освітлення.....          | 85  |
| 4.3 Заходи безпеки та охорони праці.....           | 88  |
| РОЗДІЛ 5 ОБМЕЖЕННЯ СКИДАННЯ НАФТИ .....            | 92  |
| 5.1 Правило 9.....                                 | 92  |
| 5.2 Правило 10.....                                | 94  |
| 5.3 Правило 11.....                                | 100 |
| Висновки.....                                      | 102 |
| Перелік посилань .....                             | 103 |

## ВСТУП

**Актуальність проблеми.** Розширення і ускладнення виконуваних електроприводом функцій, застосування в ньому нових засобів керування вимагають високого рівня підготовки фахівців, зайнятих його проектуванням, монтажем, налагодженням і експлуатацією. Вони повинні добре знати призначення і елементну базу окремих вузлів електропривода, їх властивості й характеристики, вміти розбиратися у схемах керування електропривода, визначати його економічні показники і обирати його елементи. Тому, під час підготовки спеціалістів у сфері електропривода, необхідно суттєву увагу приділяти не тільки вивченню теоретичного матеріалу, а й застосуванню його на практиці.

Використання новітніх інформаційних технологій дозволяє суттєво підвищити ефективність і якість навчального процесу. В наш час важко уявити повноцінну підготовку спеціаліста по інженерним спеціальностям без його ознайомлення з реальними приладами і обладнанням та отримання навиків роботи з ними. Знання сучасних технологій відкриває перед студентами широкі можливості не лише в області науки, але й в інших аспектах їх життя. Однією із найважливіших складових частин навчання студентів, що сприяють виробленню практичних навиків, є лабораторний практикум.

Основними напрямками інженерної діяльності фахівців в області електропривода є проектування, виготовлення та експлуатація систем керування, силових перетворювальних пристроїв, вимірювальних систем і т. п. Реалізація систем керування сучасних електроприводів ґрунтується на використанні мікропроцесорної і комп'ютерної техніки, що висуває до професійної кваліфікації інженера ряд додаткових вимог, які полягають в оволодінні новими інформаційними технологіями інженерної роботи. Успішна конкуренція випускників технічних ВУЗів на ринку праці можлива лише при достатньо високому рівні теоретичної та практичної підготовки. Оскільки вимоги, що висуваються роботодавцями до якості практичної підготовки

фахівців безперервно посилюються, істотно зростає роль лабораторного практикуму в учбовому процесі. Навчальні лабораторії повинні бути оснащені сучасним обладнанням і сучасними контрольно-вимірювальними приладами, щоб студенти могли в повному обсязі закріпити здобуті теоретичні знання.

До пріоритетних напрямів розвитку лабораторних комплексів необхідно віднести застосування універсальних сучасних приводів. Перетворювачі частоти Lenze 8200, що використані у стенді можна налагодити на скалярний або векторний режим, при чому в векторному режимі можлива робота на підтримку моменту навантаження з обмеженням швидкості, для складних задач типу протягування плівки. Використані перетворювачі частоти навчають студентів параметруванню та демонструють автоматичний вибір параметрів під підключений двигун. Це дає змогу значно розширити спектр лабораторних робіт, виконуваних на стендах з даною технологією.

**Мета і завдання дослідження.** На основі сучасних комплектних електроприводів провести аналіз і синтез лабораторного стенду по дослідженню асинхронних електроприводів.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз систем керування електроприводів змінного струму з асинхронним електродвигуном.
2. Здійснити вибір елементів системи керування асинхронного електропривода.
3. Провести синтез лабораторного стенду по дослідженню асинхронних електроприводів.

**Об'єкт дослідження** — фізичні явища, які протікають в електроприводі з асинхронним двигуном.

**Предмет дослідження** — параметри електропривода, що можна налаштовувати та корегувати в асинхронних електроприводах.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Отримані залежності, що дозволяють моделювати різні типи регуляторів.

2. Виявлені закономірності зміни частотних характеристик електроприводу, які відрізняються від відомих більшим запасом стійкості.

3. Подальший розвиток отримав алгоритм синтезу регуляторів в дискретних системах керування.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Лабораторний стенд по дослідженню асинхронних електроприводів.

2. Поставлено низку лабораторних робіт по дослідженню асинхронних електроприводів.

3. Схеми моделювання перехідних процесів у електроприводі з імпульсним регулятором.

Розроблений стенд розташований на кафедрі автоматики навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки НУК.

**Апробація результатів роботи.** Основні результати магістерської роботи доповідалися та обговорювались на XV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», у доповіді «Лабораторний стенд електроприводу» (м. Миколаїв, 2024 р.).

**Структура та обсяг магістерської роботи.** Магістерська робота складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Робота викладена на 104 сторінках і містить 12 таблиці та 27 рисунків.

## **РОЗДІЛ 1**

### **СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ З АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ**

Розвиток наукових і технічних тенденцій у галузі сучасного електропривода й електричних машин зумовлює невідпинне зростання складності вирішуваних завдань, підвищення вимог до якості їх виконання, до надійності та техніко-економічних показників, розширення сфери використання керованого електропривода та відповідних систем автоматизації.

Підвищення надійності, якості виробництва, техніко-економічних показників систем електропривода зумовлює розширення сфери застосування електроприводів із двигунами змінного струму. Це обумовлено декількома причинами: вони прості й надійні в експлуатації, можуть тривалий час працювати при підвищених швидкостях, можуть працювати в вибухонебезпечних і агресивних середовищах, мають меншу масу й габарити, в порівнянні з двигунами постійного струму мають меншу вартість.

#### **1.1 Використання асинхронних електродвигунів в електроприводах змінного струму**

В автоматизованих електроприводах використовують асинхронні електродвигуни з короткозамкнутим або фазним ротором. Для регулювання швидкості обертання валу електродвигуна використовують різні способи регулювання:

- шляхом зміни напруги статора або ротора;
- зміною частоти й напруги;
- зміною частоти й струму;
- застосування додаткового опору в ланцюзі ротора та інші.

На відміну від електродвигунів постійного струму, в системах керування змінного струму використовується значно більша кількість регульованих координат [1].

Є певні обмеження у використанні того чи іншого способу керування й створення на його основі систем керування електродвигуном, це ускладнено рядом обставин, найбільш істотними з яких є:

- момент електродвигуна визначається добутком двох результуючих векторів електромагнітних параметрів статора й ротора і є функцією чотирьох змінних;
- суттєва взаємодія сил, що намагнічують, статора й ротора, взаємний стан яких змінюється при обертанні ротора;
- для покращення використання двигуна в різних режимах його роботи виникає завдання регулювання або стабілізації магнітного потоку двигуна.

Для керування електродвигуном можуть використовуватись як розімкнені так і замкнені системи керування. У розімкнених системах ефективність регулювання швидкості електроприводом (ЕП) обмежена досить малим діапазоном стійких режимів роботи двигуна, тому сучасні системи керування ЕП змінного струму будуються в основному за замкненими схемами. Вони створюються коли потрібно забезпечити рух виконавчих органів робочих машин з високими показниками якості: широкий діапазон регулювання координат, точність їх підтримання, висока економічність, реалізація заданої якості перехідних процесів.

Щоб забезпечити таке керування до електропривода вводять керований перетворювач електроенергії, схема керування будується з використанням зворотних зв'язків та регульованими координатами в залежності від вимог до системи.

## 1.2 Регулювання швидкості асинхронного електродвигуна шляхом зміни напруги

Шляхом зміни напруги статора можливе регулювання швидкості асинхронних двигунів у широкому діапазоні. Це можливо виконати якщо механічні характеристики двигуна штучно зм'якшені, для цього в ланцюг ротора двигуна з фазним ротором можна включити постійний додатковий резистор [2].

Існує декілька систем керування ЕП із впливом на напругу статора:

- імпульсне регулювання швидкості;
- підпорядковане керування з регульованою напругою на статорі;
- керування з тиристорним регулятором напруги та зворотним зв'язком за швидкістю.

## 1.3 Скалярне частотне керування асинхронними електроприводами

Частотний спосіб регулювання швидкості ЕП є найбільш економічним із всіх відомих способів, тому він знаходить найбільше поширення. Його суть полягає у регулюванні синхронної швидкості за рахунок додаткової зміни частоти живлення статора АД. Економічність даного способу регулювання полягає в тому, що при регулюванні частоти не відбувається збільшення ковзання (як, наприклад, при реостатному регулюванні).

Повне використання електричної машини, у тому числі й асинхронного електродвигуна, здійснюється при роботі машини з номінальним магнітним потоком [3].

Магнітний потік створюється струмом контуру  $I_0$ , що намагнічує, пропорційним ЕРС  $E_s = 4,44 \cdot f_s \cdot W_s \cdot K_{обм}$ , де  $\Phi$  – магнітний потік,  $f_s$  – частота напруги статора,  $W_s$  – число витків обмотки,  $K_{обм}$  – обмоточний коефіцієнт.

Якщо позначити через величину  $k$  усі константи:  $k = 4,44 \cdot W_s \cdot K_{обм}$ , тоді можна записати:  $E_s = \Phi \cdot f_s \cdot k$ . Як видно, величина  $\Phi$  пропорційна відношенню  $\frac{E_s}{f_s}$ . Тобто для повного використання двигуна разом із зміною частоти  $f_s$  необхідно пропорційно змінювати  $E_s$ .

Таким чином, щоб підтримувати постійним магнітний потік, необхідно підтримувати постійним відношення ЕРС і частоти напруги статора. Але ЕРС є внутрішнім параметром двигуна і впливати на двигун можна лише зміною напруги. Звідси виникає спосіб регулювання, при якому для будь-якої частоти необхідно пропорційно змінювати напругу.

У 1925 році академіком Костенко був запропонований основний закон зміни напруги при частотному способі регулювання швидкості АД:  $\gamma = \alpha \sqrt{\mu}$ , де  $\gamma = \frac{U_s}{U_{снн}}$  – відносна напруга;  $\alpha$  – відносна частота ( $\alpha = \frac{\omega_0}{\omega_{ном}} = \frac{f_s}{f_{снн}}$ );  $\mu = \frac{M_c}{M_{снм}}$  – відносний момент навантаження, що показує зміну статичного моменту при регулюванні швидкості [4].

Приведений вираз для  $\gamma$  є універсальним і з нього можуть бути отримані окремі випадки.

При  $M_s = const$ ,  $\gamma = \alpha$ , тобто напруга на статорі двигуна повинна змінюватися пропорційно його частоті. Дійсно,  $\frac{U_s}{U_{снн}} = \frac{f_s}{f_{снн}}$ . Звідси видно, що  $U_s = f_s \cdot \frac{U_{снн}}{f_{снн}}$ . Для вентиляторного моменту навантаження:  $\gamma = \alpha^2$ .

Якщо момент навантаження змінюється зворотно-пропорційно швидкості, то має місце залежність:  $\gamma = \sqrt{\alpha}$ . Регулювання частоти й напруги здійснюється за допомогою перетворювачів частоти за одним із зазначених співвідношень для  $\gamma$ .

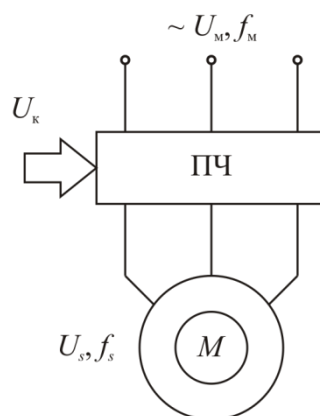


Рисунок 1.1– Узагальнена функціональна схема системи з частотним регулюванням швидкості

ПЧ – перетворювач частоти;  $U_m$ ,  $f_m$  – напруга й частота мережі живлення;  $U_k$  – керуючий сигнал. Позначення у виді «стрілки» вказує на те, що регулюються щонайменше два параметри, тобто формується, як мінімум, два керуючих сигнали.

На відміну від СКЕП постійного струму формується не один керуючий вплив, а щонайменше – два (наприклад, напруга й частота статора, струм і частота, інші). Завданням перетворювача частоти є перетворення напруги й частоти мережі в  $U_s$  і  $f_s$ , які подаються на статорну обмотку АД під дією керуючого впливу.

Частотні електроприводи різняться типами перетворювачів частоти, способами формування напруги або струму, видами зворотних зв'язків. Для одержання найкращих характеристик частотних електроприводів використовуються замкнені системи керування.

Першу групу становлять статичних перетворювачів частоти (СПЧ) з безпосереднім зв'язком живильної мережі й навантаження (так звані безпосередні перетворювачі частоти – БПЧ). Схеми БПЧ бувають із природною або примусовою комутацією тиристорів. Другу групу складають СПЧ із проміжною ланкою постійного струму. Широке розповсюдження СПЧ пояснюється їх високими техніко-економічними показниками.

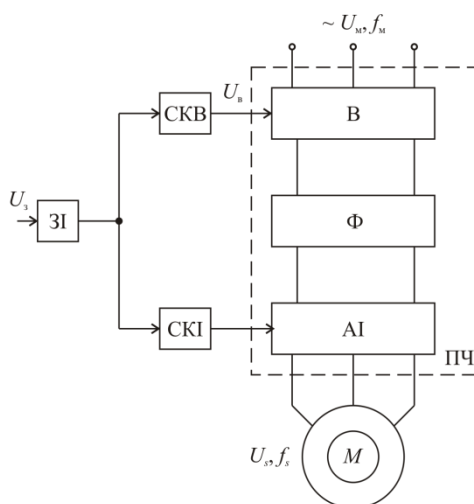


Рисунок 1.2– Узагальнена функціональна схема статичного перетворювача частоти із проміжною ланкою постійного струму

На схемі позначено: В – керований випрямляч;  $\Phi$  – фільтр у ланцюзі постійного струму; АІ – автономний інвертор; СКВ – система керування випрямлячем; СКІ – система керування інвертором. До структури статичного перетворювача частоти входять В,  $\Phi$  та АІ [5].

Напруга мережі в СПЧ перетворюється в напругу  $U_s$  регульованої частоти  $f_s$  амплітуда напруги  $U_s$  формується СКВ, а частота  $f_s$  – СКІ.

Автономні інвертори бувають двох видів: інвертор напруги – АІН (він є джерелом напруги) та інвертор струму – АІС (джерело струму). Властивості АІН або АІС визначаються схемою ланки постійного струму –  $\Phi$ , яка застосовується в схемі.

$LC$  – ланка використовується в АІН (рис 1.3, а) де конденсатор С має велику ємність (порядку  $2 \cdot 5 \cdot 10^3$  мкФ). Це забезпечує АІН жорстку характеристику (залежність напруги від навантаження).

$L$  – ланцюг представляє собою реактор великої індуктивності, що робить такий інвертор джерелом струму. Тому така ланка використовується в автономному інверторі струму (рис. 1.3, б).

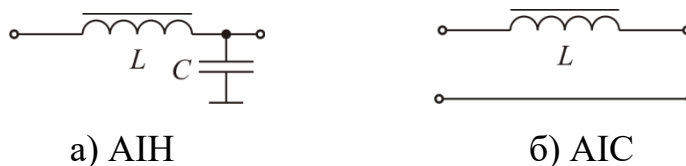


Рисунок 1.3– Автономні інвертори : а – напруги, б – струму

Керуючими сигналами на двигун у схемі СПЧ-АІН є амплітуда й частота напруги. У схемі СПЧ-АІС керуючими впливами на двигун є частота і струм статора. Ці особливості визначають спосіб частотного керування і структуру замкнутих систем керування.

Замкнені системи керування різняться видами зворотних зв'язків і типами перетворювачів частоти. Якщо в системі використовується зворотний зв'язок за швидкістю, то його також використовують і для стабілізації магнітного потоку. Такий принцип реалізується у двоконтурній системі: тиристорний перетворювач частоти + асинхронний двигун (АІН + АД).

У загальному випадку частотне керування електроприводом може бути реалізоване за трьома способами:

- параметричне керування – керуючим впливом на двигун є частота й діюче значення напруги, що подається на двигун, або просто частотне керування;
- частотно-струмове керування, де керуючим впливом на двигун є частота й діюче значення струму;
- векторне керування, яке пов'язано з регулюванням миттєвих значень живлячих напруг і струмів з метою формування електромагнітного моменту двигуна потрібної величини.

Перші два способи відносять до типу скалярного керування.

## 1.4 Параметричне частотне керування

Основна задача, що виникає в системі частотного керування ЕП, полягає у стабілізації магнітного потоку при зміні навантаження. Оскільки безпосереднє вимірювання магнітного потоку викликає труднощі, використовуються зворотні зв'язки за струмом, ЕРС, швидкістю та абсолютним ковзанням.

За рахунок використання різних зворотних зв'язків і функціональних блоків, формуються жорсткі робочі ділянки механічних характеристик, обмежуються струм і момент, забезпечується необхідне відношення між регульованою частотою і напругою

При частотному керуванні асинхронним двигуном напруга статора може в загальному випадку регулюватися як у функції відносної частоти статора  $\nu$ , так й у функції моменту навантаження. При цьому передбачається, що абсолютне ковзання  $S_2$  може визначатися, а відносна напруга статора  $\gamma$  є функцією  $\nu$  й  $S_2$ , тобто  $\gamma = \gamma(\nu, S_2)$  [5].

Механічні характеристики двигуна при керуванні частотою й напругою статора показані на рис. 1.4. Значення синхронних кутових швидкостей  $\omega_{01}$ ,  $\omega_{02}$ ,  $\omega_{03}$  відповідають трьом довільним значенням частоти напруги статора.

Слід, однак, мати на увазі, що при великому зниженні частоти сталість критичного моменту забезпечується за рахунок збільшення магнітного потоку двигуна й відповідно струму намагнічування.

Із графіка витікає, що сталість потоку двигуна забезпечується при зниженні частоти до значень, що становлять приблизно 0,2-0,3 від номінального значення. При більшому зниженні частоти сталість перевантажувальної здатності привода супроводжується різким збільшенням потоку двигуна й струму намагнічування. З урахуванням насичення двигуна й обмежень по струму статора отримання критичного моменту при  $\nu = 1$  значеннях  $\nu < 0,1$ , рівного критичному моменту, стає проблематичним.

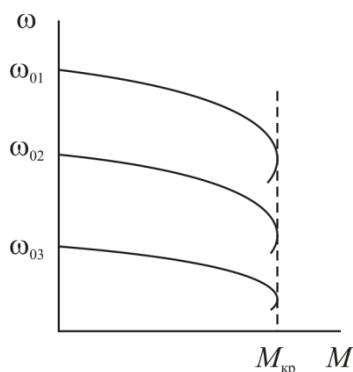


Рисунок 1.4– Механічні характеристики двигуна при керуванні частотою й напругою статора

Аналогічно можна отримати інші закони регулювання, наприклад, визначити  $\gamma = F(\nu)$  при вентиляторному навантаженні привода, при сталості потужності й ін. Однак у кожному із цих випадків розрахунок  $\gamma = F(\nu)$  необхідно робити для конкретного навантаження двигуна. Довільні зміни навантаження в процесі регулювання швидкості можуть приводити до порушення нормальних умов роботи двигуна.

Реалізуючи бажані залежності  $\gamma = F(\nu)$  за допомогою функціональних перетворювачів у системах керування асинхронними короткозамкненими електродвигунами, можна отримати найпростіші схеми керування.

### 1.5 Частотно-струмовий спосіб керування

У системах частотно-струмового керування двигун живиться від ТП частоти з автономним інвертором струму (АІС) і керуючий випрямляч разом з контуром регулювання струму випрямляча утворює джерело струму.

При живленні АД від джерела струму у наслідок дії ротора, що розмагнічує, магнітний потік АД змінюється при зміні абсолютного ковзання. Тому для стабілізації магнітного потоку в канали завдання струму

перетворювачів частоти струму вводяться функціональні перетворювачі, які визначають завдання струму статора  $I_1$  у функції абсолютного ковзання  $S_2$ .

Керування двигуном здійснюється шляхом завдання струму статора й частоти АІС. Обидві величини, у свою чергу, залежать від загального сигналу завдання на систему, що визначає швидкість двигуна. Струм статора зв'язаний також з навантаженням двигуна. Цей зв'язок найпростіше виражається через абсолютне ковзання [3, 4]:

$$M = \frac{m_1 I_1^2}{\omega_{он}} \frac{R'_2 S_2}{C(S_2)}; \quad (1.5.1)$$

$$\Phi = \frac{1}{c_1 f_{1н}} I_1 \sqrt{\frac{B(S_2)}{C(S_2)}}. \quad (1.5.2)$$

При ідеальному холостому ході ( $S_2 = 0$ ) струм статора:

$$I_{1х.х} = \Phi \cdot c_1 \cdot f_{1н} \sqrt{\frac{B(0)}{C(0)}}. \quad (1.5.3)$$

Підставивши у рівняння (1.5.3) величини  $B(0)$  й  $C(0)$  отримаємо:

$$I_{1х.х} = \Phi \cdot c_1 \cdot f_{1н} \frac{1}{x_m}. \quad (1.5.4)$$

Для довільного значення абсолютного ковзання  $S_2$  маємо:

$$I_1 = \Phi \cdot c_1 \cdot f_{1н} \sqrt{\frac{C(S_2)}{B(S_2)}}. \quad (1.5.5)$$

Підставивши в (1.5.5) вираз (1.5.4), одержимо:

$$I_1 = I_{1х.х} x_m \sqrt{\frac{C(S_2)}{B(S_2)}}. \quad (1.5.6)$$

Якщо при регулюванні швидкості задаватися умовою сталості магнітного потоку на рівні необхідного значення, наприклад  $\Phi = \Phi_n = const$ , то, використовуючи формулу (1.5.6), можна розрахувати залежність  $I_1 = F(S_2)$ , що реалізує ця умова.

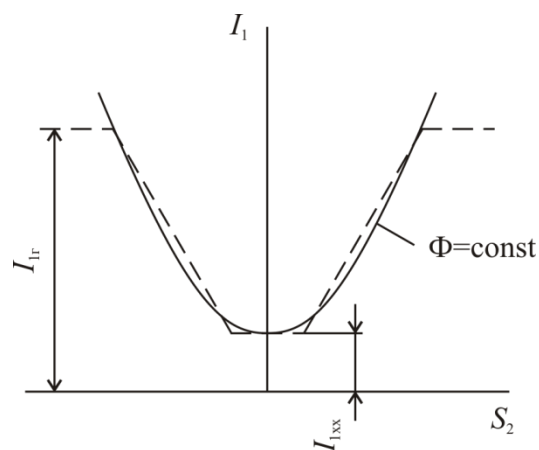


Рисунок 1.5– Залежність  $I_1 = F(S_2)$

Залежність  $I_1 = F(S_2)$  представляє собою нелінійну функцію, і для простоти виконання функціонального перетворювача в системі керування раціонально виконувати її лінійну апроксимацію.

Величина  $I_{1r}$  визначає граничне значення струму статора, яке дорівнює припустимому струму ТП частоти й двигуна. Характеристика  $I_1 = F(S_2)$  симетрична щодо осі струму, що підкреслює загальну симетрію асинхронної машини в генераторному режимі та режимі двигуна.

Використовуючи реальну характеристику  $I_1 = F(S_2)$  функціонального перетворювача, можна з рівнянь (1.5.1) і (1.5.2) розрахувати залежності  $M = F(S_2)$  й  $\Phi = F(S_2)$ , що мають бути реалізованими.

При частотно-струмовому керуванні АД живиться від перетворювача частоти, який працює в режимі джерела струму. У склад інвертора струму входять керований випрямляч КВ та інвертор струму. КВ забезпечує за рахунок зворотного зв'язку за струмом навантаження (датчик струму ДС та регулятор РС) сумісно з фільтруючим дроселем режим керованого джерела постійного струму. Інвертор струму виконує функцію формування потрібної частоти вихідного струму.

Частотно-струмовий спосіб керування забезпечує незалежність електромагнітного моменту АД від частоти та можливість забезпечити при заданому струму статора та абсолютному сковзанні, що дорівнює критичному,

більший момент, ніж, при живленні від джерела напруги, можуть бути реалізовані лише в замкнутій системі, яка контролює абсолютне ковзання та струм двигуна у функції навантаження.

## 1.6 Системи векторного керування

Для отримання високої якості та діапазонів регулювання змінних асинхронного електропривода у сталому та перехідних режимах застосовуються системи векторного керування, в яких вирішення цих задач забезпечується за рахунок електромагнітного моменту двигуна.

Рівняння електромагнітного моменту АД може мати різні форми запису в залежності від використаних в цих рівняннях змінних та вибраних систем координат для їх представлення. При будівництві систем векторного керування процеси у двигуні варто розглядати в системі координат  $X, Y$ , в якій вісь  $X$  співпадає за напрямом з потокозчепленням ротора й обертається з його швидкістю. В цьому випадку рівняння електромагнітного моменту трьохфазного АД має вигляд [3]:

$$M = (3pL_{12}\psi_2 i_{1y}) : (2L_2), \quad (1.6.1)$$

де  $p$  – число пар полюсів;  $L_{12}$  – взаємна індуктивність між статором та ротором;  $i_{1y}$  – складова струму статора по вісі  $Y$ ;  $L_2$  – повна індуктивність ротора.

Складова струму статора  $i_{1x}$  по вісі  $X$  визначає потокозчеплення ротора  $\psi_2$ . За рахунок регулювання  $i_{1x}$  та  $i_{1y}$  можна забезпечити формування моменту двигуна. Складова  $i_{1x}$  може розглядатися як реактивна складова струму статора, що намагнічує, а  $i_{1y}$  – його активна складова, яка йде на створення моменту двигуна.

Принцип векторного керування здійснюється за рахунок роздільного керування швидкістю та потокозчепленням асинхронного короткозамкнутого

електродвигуна. Координати електропривода, що вимірюються в нерухомій системі координат, можуть бути перетворені до обертової системи координат і з них можуть бути виділені постійні значення, пропорційні складовим векторів в обертовій системі координат. По цих координатах і формуються сигнали керування.

Вихідною інформацією для побудови системи векторного керування є інформація про миттєві значення й просторове положення вектора потокозчеплення в повітряному зазорі, миттєвих значеннях струмів або напруг статора й швидкості ротора двигуна. Обертова система координат приймається певним чином орієнтованою щодо вектора потокозчеплення двигуна. Зручні алгоритми керування мають місце при орієнтації координатної системи щодо вектора потокозчеплення ротора.

Поворот вектора сили, що намагнічує, статора на кут, що дорівнює миттєвій фазі вектора потокозчеплення ротора в осях  $\alpha - \beta$  щодо нерухомих  $x - y$  осей відповідно до формул, записаними через струми статора:

$$\begin{aligned} i_{1\alpha} &= i_{1x} \cos \theta + i_{1y} \sin \theta; \\ i_{1\beta} &= -i_{1x} \sin \theta + i_{1y} \cos \theta. \end{aligned} \quad (1.6.2)$$

Рівняння перехідних процесів в асинхронному двигуні при векторному керуванні, виражені в системі координат, орієнтованої щодо вектора потокозчеплення ротора.

Підставивши у рівняння  $u'_2 = R'_2 i'_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + j(\omega_k - p_n \omega) \psi_2$  значення струму ротора:

$$i'_2 = \frac{1}{L'_2} \psi_2 - \frac{L_m}{L'_2} i_1, \quad (1.6.3)$$

і виконавши необхідні перетворення з урахуванням того, що для електродвигуна з короткозамкнутим ротором  $u'_2 = 0$ , а  $\frac{L_m}{L'_2} = k_2$ , отримаємо:

$$\frac{d\psi_2}{dt} = -\frac{R'_2}{L'_2} \psi_2 + k_2 R'_2 i_1 - j(\omega_k - p_n \omega) \psi_2. \quad (1.6.4)$$

Якщо підставити в рівняння  $u_1 = R_1 \cdot i_1 + \frac{d\psi_1}{dt} + j \cdot \omega_k \cdot \psi_1$  значення потокозчеплення статора  $\psi_1 = i_1 L_1 + i'_{21} \cdot L_m$  і виконати необхідні перетворення отримаємо:

$$\frac{di_1}{dt} = -\frac{R_1 + k_2^2 \cdot R_2'}{L_2''} \cdot i_1 - j \cdot \omega_k \cdot i_1 + \frac{k_2 \cdot R_2'}{L_2' \cdot L_1''} \cdot \psi_2 - j \cdot p_n \cdot \omega \cdot \frac{k_2}{L_1''} \psi_2 + \frac{1}{L_1''} \cdot u_1, \quad (1.6.5)$$

$$\text{де } L_1'' = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2'} \approx L_{1\sigma} + L_{2\sigma}'.$$

Якщо виразити результуючі вектори через їх дійсні й мнимі частини, а також врахувати формули (1.6.2) ортогональних перетворень, то можна записати рівняння (1.6.4) і (1.6.5) у системі координат, що обертається зі швидкістю  $\omega_k$ , яка дорівнює кутовій швидкості обертання вектора потокозчеплення ротора  $\omega'_{\psi_2}$ , наведеної до двополусного електродвигуна, у наступному виді:

$$\begin{aligned} \frac{d|\psi_2|}{dt} + \frac{R_2'}{L_2'} |\psi_2| &= k_2 R_2' i_{1a}; \\ (\omega''_{\psi_2} - p_n \omega) |\psi_2| &= k_2 R_2' i_{1\beta}; \\ \frac{di_{1a}}{dt} + \frac{R_1 + k_2 R_2'}{L_1''} i_{1a} &= \omega'_{\psi_2} i_{1\beta} + \frac{k_2 R_2'}{L' L_1''} |\psi_2| + \frac{1}{L_1''} \cdot u_{1a}; \\ \frac{di_{1\beta}}{dt} + \frac{R_1 + k_2 R_2'}{L_1''} i_{1\beta} &= -\omega'_{\psi_2} i_{1a} + p_n \omega \frac{k_2}{L_1''} |\psi_2| + \frac{1}{L_1''} \cdot u_{1\beta}, \end{aligned} \quad (1.6.6)$$

де  $|\psi_2| = \psi_{2a}$ ,  $\psi_{2\beta} = 0$ , тому що вектор потокозчеплення ротора сполучений з дійсною віссю координатної системи.

Електромагнітний момент двигуна може бути визначений по формулі:

$$M = \frac{3}{2} p_n k_2 |\psi_2| i_{1\beta}, \quad (1.6.7)$$

Додавши до рівнянь (1.6.6) і (1.6.7) рівняння рівноваги моментів електропривода  $M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$ , одержимо систему рівнянь, яка повністю характеризує перехідні процеси в електроприводі при векторному керуванні.

З аналізу рівнянь (1.6.2) і (1.6.7) можна встановити однозначні залежності модуля вектора потокозчеплення ротора  $|\psi_2|$  від струму  $i_{1a}$ , моменту двигуна від струму  $i_{1\beta}$ , а також струмів  $i_{1a}$  і  $i_{1\beta}$  від напруг  $u_{1a}$  й  $u_{1\beta}$ .

Кутова швидкість  $\omega_{\psi_2}$  дорівнює кутовій швидкості  $\omega'_0$ . Однак для простоти виконання алгебраїчних перетворень можна вважати, що  $\omega_k = \omega_{\psi_2} \approx p_n \omega$ .

З урахуванням компенсації складової правої частини рівняння (1.6.6) можна записати в наступному виді:

$$\begin{aligned} \frac{L'_2}{R'_2} \cdot \frac{d|\psi_2|}{dt} + |\psi_2| &= k_2 \cdot L'_2 \cdot i_{1a}; \\ \frac{L''_1}{R_1 + k_2^2 \cdot R'_2} \frac{di_{1a}}{dt} + i_{1a} &= \frac{1}{R_1 + k_2^2 \cdot R'} \cdot u_{1a}; \\ \frac{L''_1}{R_1 + k_2^2 \cdot R'_2} \frac{di_{1\beta}}{dt} + i_{1\beta} &= \frac{1}{R_1 + k_2^2 \cdot R'} \cdot u_{1\beta}. \end{aligned} \quad (1.6.8)$$

Перетворення складові напруги статора  $u_{1a}$  й  $u_{1\beta}$  (представлених в осях, жорстко пов'язаних з вектором потокозчеплення ротора) у складові  $u_{1x}$  й  $u_{1y}$  нерухомої осі здійснюється у відповідності з формулами:

$$\begin{aligned} u_{1x} &= u_{1a} \cos \theta - u_{1\beta} \sin \theta; \\ u_{1y} &= u_{1a} \sin \theta + u_{1\beta} \cos \theta. \end{aligned}$$

Далі напруги  $u_{1x}$  й  $u_{1y}$  перетворюються за допомогою перетворювача фаз (ПФ) у трифазну систему змінних напруг  $u_a$ ,  $u_b$ ,  $u_c$ , що використовуються для керування амплітудою й частотою вихідної напруги перетворювача частоти (ПЧ).

Динамічні властивості ПЧ разом із блоками виміру й перетворення координат можуть бути спрощені введенням еквівалентної інерційної ланки з передатною функцією:

$$W_{np.\varepsilon}(p) = \frac{k_{np.\varepsilon}}{T_{np.\varepsilon} p + 1}, \quad (1.6.9)$$

де  $k_{np.\varepsilon}$  – еквівалентний передатний коефіцієнт перетворювача;  $T_{np.\varepsilon}$  – еквівалентна постійна часу перетворювача.

$$\text{Позначимо } R_1 + k_2^2 R_2' = R_\Sigma, \quad \frac{L_1''}{R_\Sigma} = T_{\varepsilon 1}, \quad \frac{L_2'}{R_2'} = T_{\varepsilon 2} \quad \text{і з урахуванням (1.6.9)}$$

передатні функції, що характеризують динамічні процеси в асинхронному електродвигуні при векторному керуванні, будуть такими:

$$\begin{aligned} \frac{|\psi_2|(p)}{i_{1a}(p)} &= \frac{k_2 L_2'}{T_{\varepsilon 2} p + 1}; \\ \frac{i_{1a}(p)}{u_{1a}(p)} &= \frac{k_{np.\varepsilon}}{T_{np.\varepsilon} p + 1} \frac{\frac{1}{R_\Sigma}}{T_{\varepsilon 1} p + 1}; \\ \frac{i_{1\beta}(p)}{u_{1\beta}(p)} &= \frac{k_{np.\varepsilon}}{T_{np.\varepsilon} p + 1} \frac{\frac{1}{R_\Sigma}}{T_{\varepsilon 1} p + 1}; \\ M(p) &= \frac{3}{2} p_n k_2 |\psi_2|(p) i_{1\beta}(p); \\ \frac{\omega(p)}{M(p) - M_c(p)} &= \frac{1}{Jp}. \end{aligned} \quad (1.6.10)$$

Послідовно із РШ встановлюється блок розподілу, що компенсує вплив вузла добутку при формуванні електромагнітного моменту. Тим самим забезпечується постійність передатного коефіцієнта розімкнутої по швидкості системи при зміні потокозчеплення ротора.

Недоліком системи векторного керування є складність керуючих і функціональних пристроїв при реалізації перетворення координат і фаз, виконання компенсаційних зв'язків при широкому діапазоні регулювання швидкості й навантаження електропривода.

## 1.7 Основні види приводів та їх характеристики

Сучасною електротехнічною промисловістю випускаються перетворювачі змінного струму в двох основних конструктивних виконаннях: у вигляді перетворювачів частоти, які живляться від мережі змінного

трёхфазного або однофазного струму, і вигляді інверторів напруги, що живляться від мережі постійного струму. Перетворювачі частоти включають в себе блок силового випрямляча, ланку постійного струму і автономний інвертор напруги. Як правило, перетворювач частоти використовується в системах з одним двигуном. На базі автономних інверторів напруги реалізується економічно ефективна система привода з декількома двигунами [6].

Перетворювач частоти і автономний інвертор напруги може використовуватися як для керування стандартним асинхронним двигуном, так і синхронним двигуном. Сфера застосування керованих електроприводів дуже широка. Для зручності розгляду функціональних особливостей необхідно виділити характерні види приводів. Даний матеріал зручно представити в табличній формі.

Таблиця 1.1– Основні види приводів та їх характеристики

| <b>Характеристики</b>                            | <b>Приводи загального призначення</b>                                                     | <b>Високо динамічні приводи</b>                                                                                           |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Тип керування</b>                             | U/f – керування                                                                           | Векторне                                                                                                                  |
| <b>Точність</b>                                  | Низька                                                                                    | Висока                                                                                                                    |
| <b>Динаміка</b>                                  | Низька                                                                                    | Середня                                                                                                                   |
| <b>Двигун</b>                                    | Стандартний асинхронний                                                                   | Стандартний асинхронний                                                                                                   |
| <b>Технологічні функції</b>                      | Попередньо задана конфігурація                                                            | Програмні функції керування механічними змінними (синхронізація швидкостей, розподілення навантаження, керування натягом) |
| <b>Спосіб обміну даними</b>                      | Аналогові і дискретні сигнали                                                             | Промислові мережі                                                                                                         |
| <b>Спосіб керування і кваліфікація оператора</b> | Місцеве керування приводом, низько кваліфікований персонал                                | Комп’ютерні засоби НМІ, висококваліфікований персонал                                                                     |
| <b>Сфера застосування</b>                        | Насоси, вентилятори, компресори та інші прості механізми зі змінним моментом навантаження | Центрифуги, підйомні транспортні механізми, мішалки і другі механізми з постійним і змінним моментом навантаження         |

Продовження таблиці 1.1

| <b>Характеристики</b>                            | <b>Високо динамічні взаємозв'язані приводи</b>                                                                                                                          | <b>Сервоприводи</b>                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Тип керування</b>                             | Векторне                                                                                                                                                                | Серво                                                                                                                                           |
| <b>Точність</b>                                  | Висока                                                                                                                                                                  | Висока                                                                                                                                          |
| <b>Динаміка</b>                                  | Середня                                                                                                                                                                 | Висока                                                                                                                                          |
| <b>Двигун</b>                                    | Стандартний асинхронний                                                                                                                                                 | Синхронний і асинхронний                                                                                                                        |
| <b>Технологічні функції</b>                      | Програмуючі функції керування механічними змінними (синхронізація швидкості, розподіл навантаження, керування натягом)                                                  | Програмні функції керування переміщення (синхронізація положення кутових переміщень)                                                            |
| <b>Спосіб обміну даними</b>                      | Промислові мережі                                                                                                                                                       | Промислові мережі, операційні системи реального часу                                                                                            |
| <b>Спосіб керування і кваліфікація оператора</b> | Комп'ютерні засоби НМІ, висококваліфікований персонал                                                                                                                   | Комп'ютерні засоби НМІ, висококваліфікований персонал                                                                                           |
| <b>Сфера застосування</b>                        | Приводи з декількома двигунами паперового та картонного виробництва, прокатні стани, виробництво полімерних плівок, синтетичні волокна, приводи портових кранів та інші | Верстатні приводи, в тому числі з ЧПК, системи позиціонування в пакувальних і печатних агрегатах, системи переміщення, ткацькі верстати та інші |

## РОЗДІЛ 2

### ВИБІР ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

В лабораторному стенді для керування трифазним асинхронним двигуном з короткозамкнутим ротором використовуються перетворювачі частоти Lenze E82EV551K2C серії 8200 та Lenze E82EV152K2C серії 8200.

Дані перетворювачі частоти живляться від однофазної мережі змінного струму напругою 180...264В. Перетворювачі частоти (ПЧ) Lenze 8200 розроблені на основі новітніх технологій і містять алгоритми, які відповідають найбільш частим застосуванням: горизонтальне транспортування вантажів (конвеєри); фасувально-пакувальне обладнання; насоси та вентилятори; шнекові дозатори; екструдери; спеціальні машини та механізми.

#### 2.1 Призначення та конструктивне виконання ПЧ

Кожний з перетворювачів виконаний в спеціальному корпусі з охолоджувальним радіатором, вони призначені для нормальних умов експлуатації і розміщення в шафі. Зовнішній вигляд перетворювачів зображено на рис. 2.1 [8].



а)



б)

Рисунок 2.1– Зовнішній вигляд ПЧ Lenze 8200: а) E82EV551K2C,  
б) E82EV152K2C

Дані перетворювачі частоти використовуються в промисловості для обладнання з високою точністю. Одними з багатьох сфер застосування перетворювачів є: стабілізація швидкості протяжки плівки, стабілізація тиску в системі водопостачання, контроль швидкості за допомогою індуктивного датчика.

**Стабілізація швидкості протяжки плівки.** Для того, щоб синхронізувати швидкість подавального і приймального валків застосовується «танцюючий» потенціометр, який формує сигнал неузгодженості. Цей сигнал у залежності від знака складається або віднімається з сигналом завдання. В результаті змінюється швидкість обертання приймального валу, забезпечуючи необхідну лінійну швидкість протягування плівки.

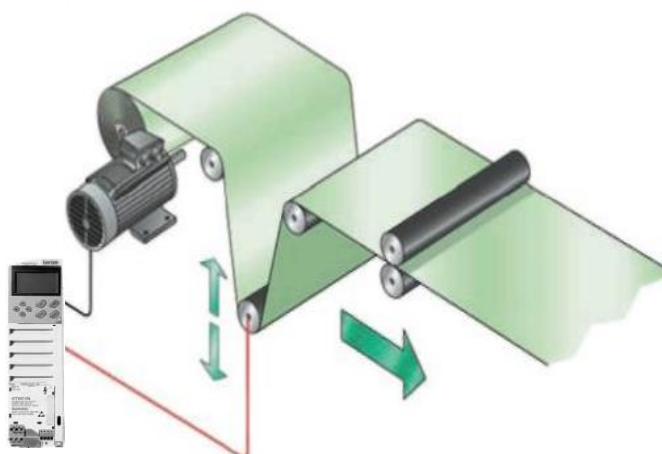


Рисунок 2.2– Схема протяжки плівки

**Стабілізація тиску в системі водопостачання.** Регулювання продуктивності насоса за допомогою перетворювача частоти дозволяє забезпечити стабільний тиск в системі. Вбудований ПД-регулятор робить регулювання більш плавним і дозволяє уникнути різких коливань тиску і гідроударів. При зниженні швидкості обертання насоса в два рази споживана потужність зменшується в 8 разів! Економія електроенергії за рахунок зниження продуктивності насоса в години «відпочинку» окупає систему менш ніж за 1 рік.

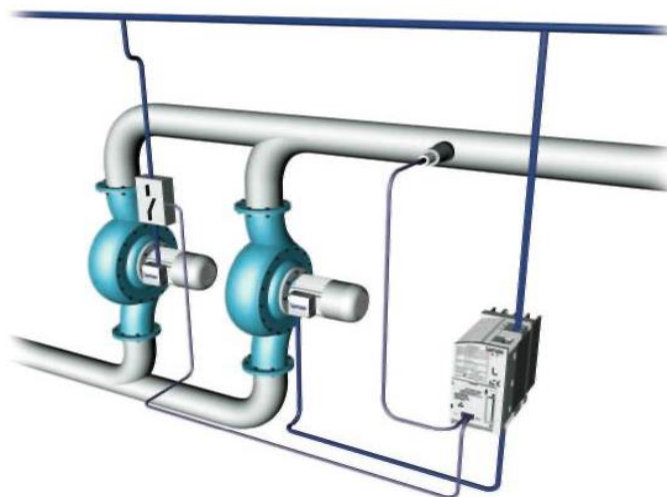


Рисунок 2.3– Схема системи водопостачання

**Контроль швидкості за допомогою індуктивного датчика.** У даній схемі в якості датчика зворотного зв'язку по швидкості використовується індуктивний датчик і металева крильчатка, встановлена на валу двигуна або редуктора. Число імпульсів, що формуються датчиком, пропорційно дійсній швидкості обертання. Далі в контролері перетворювача частоти (ПЧ) обчислюється неузгодженість між заданою і реальною частотою і формується сигнал управління, спрямований на зменшення неузгодженості

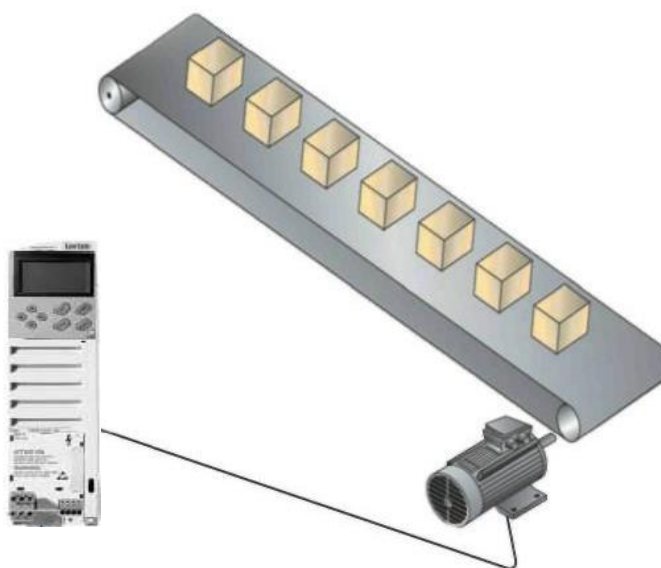


Рисунок 2.4– Система стабілізації швидкості за допомогою індуктивного датчика

## 2.2 Габаритні розміри ПЧ

Позначення основних габаритних розмірів перетворювачів частоти та їх кріплення приведені на рис. 2.5. Величини розмірів та маси перетворювачів зведені в таблицю 2.1 [8].

Таблиця 2.1– Основні габаритні розміри перетворювачів

| Тип ПЧ      | a<br>[mm] | a1<br>[mm] | b<br>[mm] | b1<br>[mm] | b2<br>[mm] | c<br>[mm] | c1<br>[mm] | d<br>[mm] | f<br>[mm] |
|-------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| E82EV551K2C | 60        | 30         | 210       | 240        | 180        | 140       | 16         | 6.5       | 208       |
| E82EV152K2C | 60        | 30         | 270       | 300        | 240        | 140       | 16         | 6,5       | 268       |

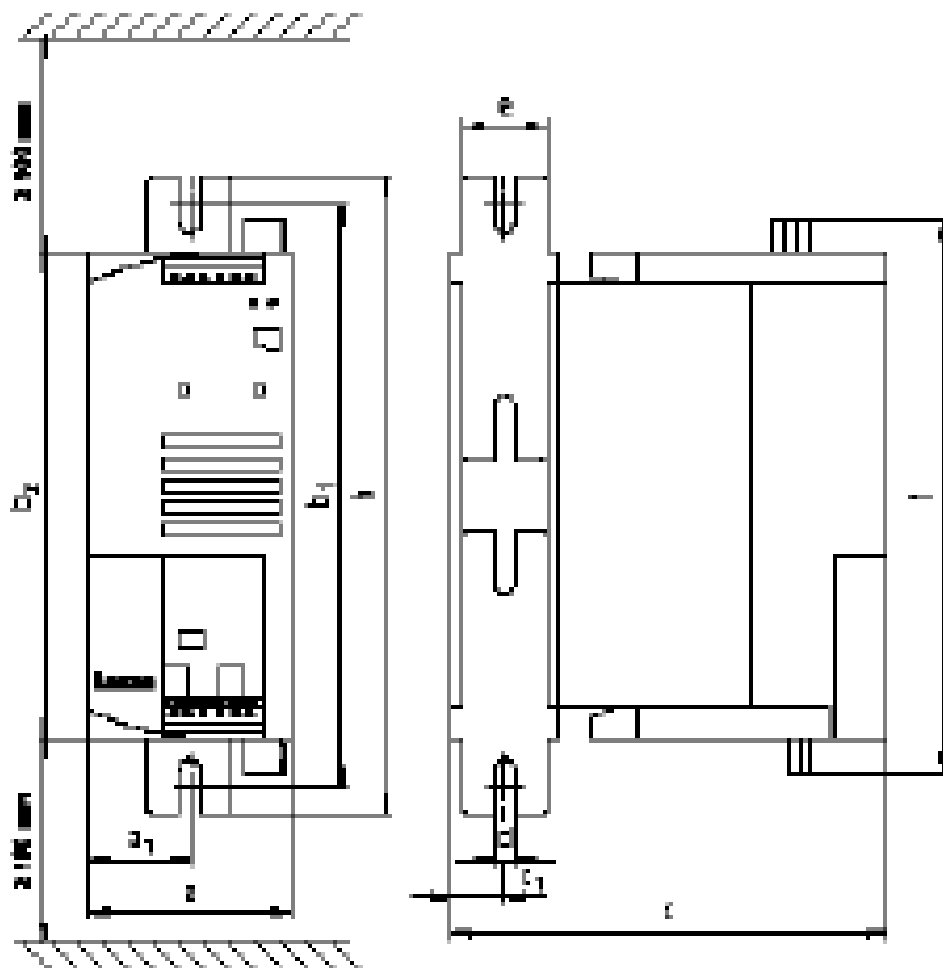


Рисунок 2.5– Позначення основних розмірів перетворювачів

## 2.3 Технічні дані перетворювачів частоти

Перетворювачі частоти Lenze використовуються в багатьох сферах промисловості і системах регулювання швидкості приводу. Кожен із перетворювачів виконує наступні функції:

- пуск та регулювання швидкості обертання двигуна;
- вибір швидкості з панелі приводу;
- прискорення, уповільнення, зупинка;
- вибір темпів прискорення;
- захист двигуна та перетворювача.

У порівнянні з серією ESMD перетворювач 8200 має деякі функціональні відмінності, а саме:

- доданий векторний режим керування без датчиків зворотного зв'язку;
- доданий режим підтримки моменту;
- вбудований ПД – регулятор процесу;
- можливість біполярного керування;

Перетворювачі обох серій відповідають однаковим стандартам і мають змогу використовуватися в однакових умовах. Стандарти і умови використання перетворювачів приведені в таблиці 2.2 [8].

Таблиця 2.2– Стандарти і умови використання

|                                      |                                         |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| Ступінь захисту                      | IP20;                                   |
| Відповідність стандартам             | CE,UL,cUL                               |
| Максимально дозволена довжина кабелю | Екранованого 100 метрів (малої ємності) |
|                                      | Неекранованого 50 метрів                |
| Несиметричність живлення             | Не більше 2%                            |
| Вологість                            | Не більше 95%                           |
| Вихідна частота                      | 0...240 Гц                              |
| Частота модуляції                    | 4,6,8,10 кГц                            |
| Температурний діапазон роботи        | 0...+55 С                               |

Продовження таблиці 2.2

|                    |                                                                                                              |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Установочна висота | 0...4000 м над рівнем моря                                                                                   |
| Віброніжність      | До 0,7 g                                                                                                     |
| Струми керування   | Більш ніж 3,5 мА на РЕ                                                                                       |
| Закони керування   | Лінійна характеристика U/f<br>Квадратична характеристика U/f<br>Векторний режим, моментний режим             |
| Входи              | Дискретні: 4 вільно прогр. Входи + Start/Stop<br>Аналогові: 1 вхід (0-5 В, 0-10 В), 1 вхід (0-20 мА/4-20 мА) |
| Виходи             | Дискретні: 2 дискретні виходи                                                                                |

Для нормального функціонування перетворювачів частоти під час їхнього монтажу потрібно використовувати автомати подачі напруги і плавкі запобіжники відповідного класу і на струм, який залежить від потужності перетворювача. Площа поперечного перерізу монтажних проводів повинна відповідати потужності електроприводу. Основні технічні характеристики перетворювачів, серії автоматів, плавких запобіжників та площа поперечного перерізу кабелів вказані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3– Технічні характеристики, запобіжники, кабелі

| Тип               | Р    | Живлення                          |    | Вихідний струм |     |                  |     | Автомат | Запобіжник | S кабеля,<br>мм <sup>2</sup> |
|-------------------|------|-----------------------------------|----|----------------|-----|------------------|-----|---------|------------|------------------------------|
|                   | кВт  | U, V<br>f, Гц                     | I  | I <sub>r</sub> |     | I <sub>max</sub> |     |         |            |                              |
|                   |      |                                   | 3) | 1)             | 2)  | 1)               | 2)  |         |            |                              |
| ETML 371<br>X2SFA | 0,37 | 1/N/PE<br>180-264 V<br>48...62 Гц | 5  | 2,4            | 2,2 | 3,6              | 3,3 | C10A    | M10A       | 1,5                          |
| ESMD 751<br>L4TXA | 0,75 | 3/PE<br>320-528 V<br>48...62 Гц   | 3  | 2,5            | 2,3 | 3,8              | 3,5 | C10A    | M10A       | 1,5                          |

1) Для номінальної напруги живлення і частоти комутації 4,6,8 кГц

2) Для номінальної напруги живлення і частоти комутації 10 кГц

3) Максимальний струм в функції від установки с 73(вхідна напруга)

Рекомендується ставити автомати серії XS або XE

## 2.4 Схеми підключення перетворювачів частоти

Перетворювачі частоти підключають до живлячої мережі, асинхронного електродвигуна та до відповідних органів керування через спеціальні клеми, призначення кожної із клем обох перетворювачів представлені в таблиці 2.4 [8].

Схема підключення перетворювачів зображена на рисунку 2.6.

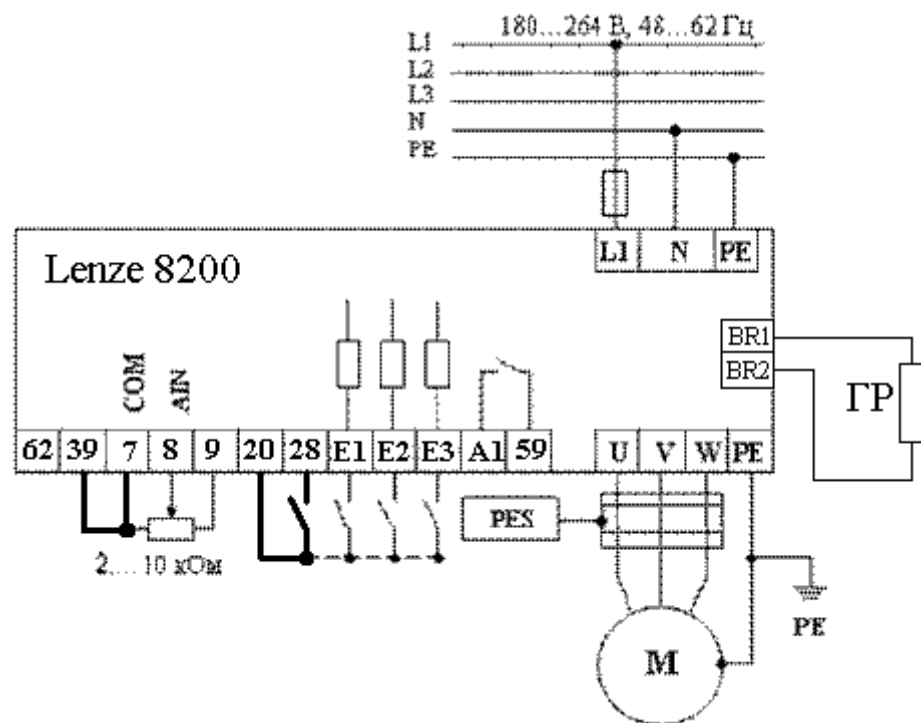


Рисунок 2.6– Схема підключення ПЧ Lenze 8200

Таблиця 2.4– Опис клем керування

| Клема | Опис                                               |                             |
|-------|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| 7     | Загальний GND                                      |                             |
| 8     | Аналоговий вхід 0...+5 В.С34                       | Вхід потенціометра: >50 кОм |
| 9     | Живлення потенціометра                             | +5 В, 10мА                  |
| 20    | Живлення дискретних входів                         | +20 В, 20мА                 |
| 28    | Дискретний вхід Start/Stop                         | 0 Зупинка, 1 Запуск         |
| E1    | Дискретний вхід E1 (функція JOG1 – за замовчанням) | E1=1: JOG1 вкл.             |

Продовження таблиці 2.4

| Клема      | Опис                                                           |                                                                   |
|------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>E2</b>  | Дискретний вхід E2 (функція на пряму обертання – по умовчанні) | E2=0: за годинниковою стрілкою, E2=1: проти годинникової стрілки. |
| <b>E3</b>  | Дискретний вхід E3 (функція DCB – по умовчанні)                | E3=1: DCB активно                                                 |
| <b>A1*</b> | Конфігурація цифрових входів виходів з c17                     | DC 24 V/ 50 мА, NPN                                               |
| <b>62*</b> | Конфігурація аналогових виходів з c08 и c11                    |                                                                   |
| <b>BR1</b> | Клеми для підключення гальмівного резистора/модуля             |                                                                   |
| <b>BR2</b> |                                                                |                                                                   |
| <b>K12</b> | Реле (NO контакт ) (функція «Помилка» – за замовчанням )       | AC 250 V/ 3 A DC 24 V/2 A...240 V/ 0.22 A                         |
| <b>K14</b> |                                                                |                                                                   |

0 – LOW рівень (0...3 В)

1 – HIGH рівень (+12...+30 В)

## 2.5 Увімкнення ПЧ та рекомендації по його використанні

ПЧ вже має заводські установки на потужність двигуна відповідну потужності ПЧ, із розрахунком на двигун 1500 об/хв, 4-х полюсний. Для першого включення достатньо подати на живлячі клеми L1, N/L2 ПЧ однофазну напругу 220 (E82EV...K2C).

**СУВОРО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ** заземляти Клеми BR+ і (або) BR-.

На вихідних клемах з'явиться напруга, частоту якої можна змінювати за допомогою змінного резистора номіналом від 1 до 10 кОм. Для цього його необхідно підключити до клем 7, 8, 9, а на виводи 20, 28 підключити тумблер (дозвіл на пуск Start/Stop). Максимальну та мінімальну частоту, струм теплового захисту, логіку і закон керування можна задавати за допомогою кодів налаштування зазначених у інструкції. Налаштування ПЧ необхідно проводити

при розімкнутих клемах 20 і 28. Цифрові входи (E1, E2, E3), аналоговий (8) і релейні виходи (K12, K14) конфігуруються згідно з таблицею налаштувань ПЧ.

Дистанційне керування ПЧ можливо за допомогою виносної клавіатури E82ZBC, для цього необхідно підключити тумблер на клеми 20-28 для дозволу пуску (кнопки Run і Stop не активні при розімкнутих 20-28). Зовнішній вигляд та розміри виносної клавіатури зображені на рисунку 2.7.

Для реалізації необхідних гальмівних режимів використовуються гальмівні резистори з гальмівним ключем.

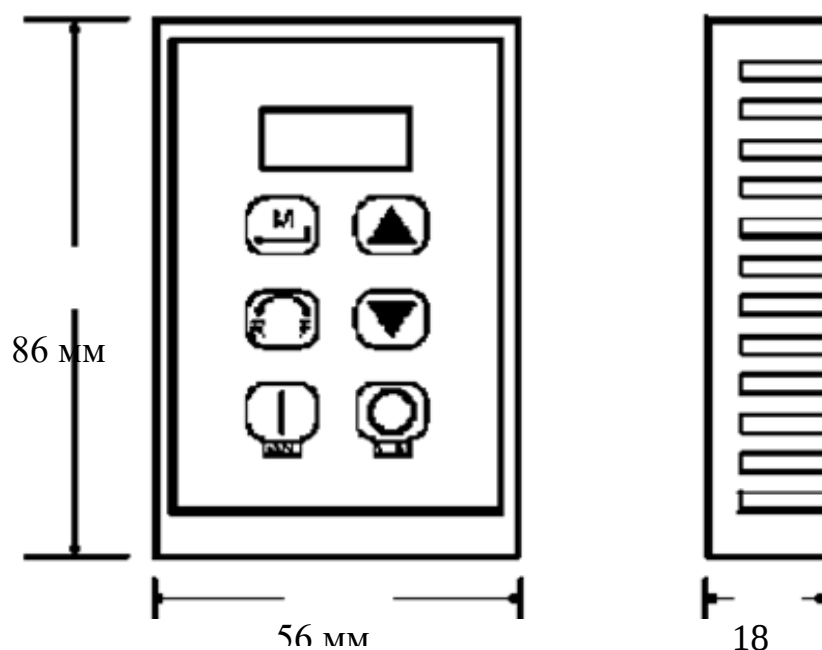


Рисунок 2.7– Зовнішній вигляд та основні розміри виносної клавіатури

Для забезпечення безвідмовної роботи перетворювачів частоти, протягом усього терміну експлуатації, рекомендується використовувати наступне додаткове обладнання:

1. Швидкодіючі електронні запобіжники для захисту електронних частин перетворювачів. Допускається застосування автоматичних вимикачів, рекомендованих для використання заводом-виробником;

2. Мережеві дроселі, які захищають батареї конденсаторів випрямляча перетворювача від перегріву і виходу з ладу, подовжують термін роботи

обладнання, захищають його від збою. Крім того, дроселі узгодять джерело живлення і силові ланцюги перетворювача між собою;

3. Для додаткового захисту електродвигуна від теплового перегріву рекомендується використання датчика температури встановленого в корпус електродвигуна. Під час роботи електродвигуна від перетворювача частоти в області частот нижче номінальних рекомендується використання примусового обдуву, для захисту двигуна від перегріву;

4. При застосуванні двигуна меншої потужності щодо перетворювача частоти, обов'язковим є обмеження вихідного струму перетворювача. див. код C22;

5. У разі самовільного відключення перетворювача з причини якої-небудь несправності забороняється повторно включати перетворювач до усунення несправності. У разі повторного відключення з цієї ж причини (після усунення несправності) необхідно звернутися до фірми постачальника.

## **2.6 Програмування перетворювача частоти Lenze 8200**

Особливістю перетворювачів Lenze 8200 є можливість зміни параметрів керування приводом. Зміну параметрів можливо здійснити за допомогою пульта керування, який знаходиться безпосередньо на самому приводі або за допомогою виносної клавіатури.

Параметри стану привода та можливі варіанти їх змін відображаються на дисплеї привода. Візуалізація стану привода та порядок зміни його параметрів показані на рисунку 2.8.

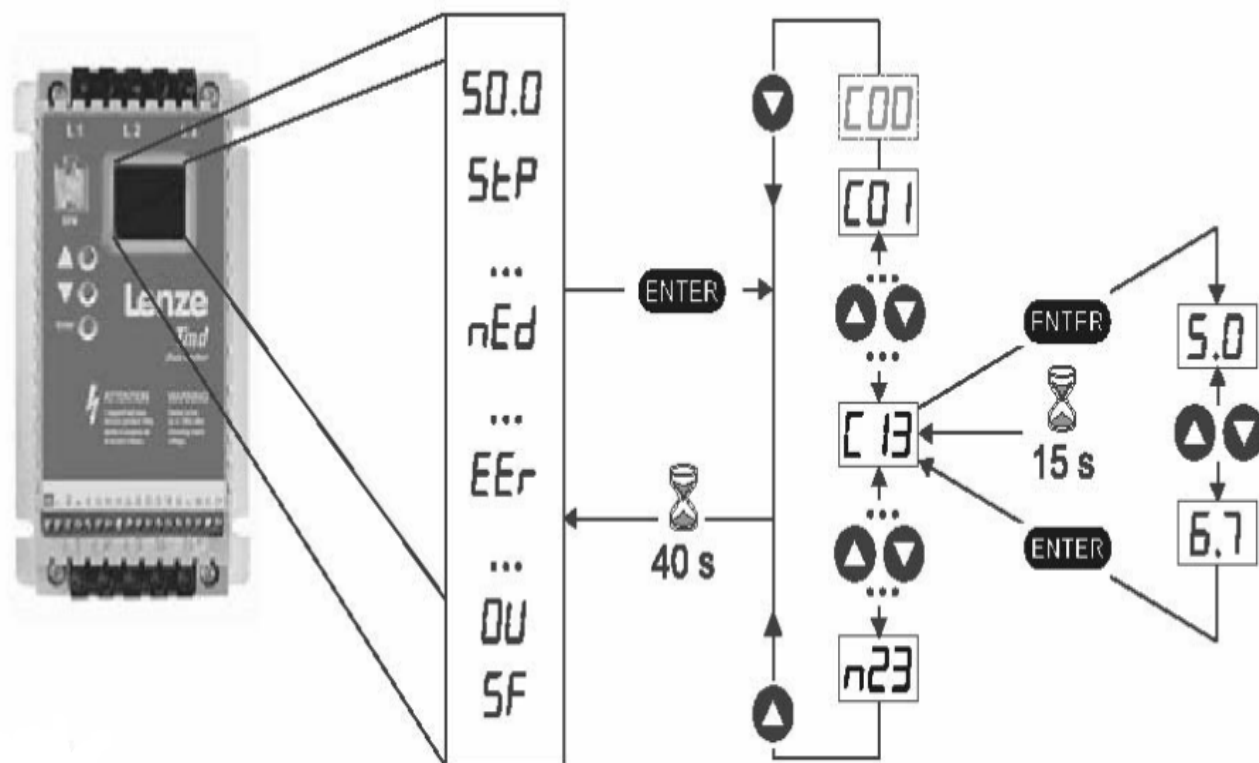


Рисунок 2.8– Візуалізація стану перетворювача частоти та редагування його параметрів

Кожний доступний для зміни параметр привода відповідає спеціальному коду. Заводський параметр можна змінити на доступне його значення в певному діапазоні. Коди, відповідні їм параметри, заводські значення параметрів та діапазони їхніх змін, при програмуванні, вказані в таблиці 2.5 [8].

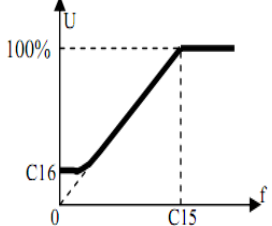
Таблиця 2.5– Програмування перетворювача частоти

| Код                            | Параметр                                                     | Зав. | Доступні значення                                                                                                                       | Примітки                                                            |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| C00                            | Введення пароля                                              | 0    | 0...999                                                                                                                                 | При активному паролі (див. C94)                                     |
| C01                            | Завдання частоти                                             | 0    | 0 – Аналоговий вхід (клема 8)                                                                                                           | Управління з терміналу<br>Програмування з пульта                    |
|                                |                                                              |      | 1 – кнопками «и»                                                                                                                        |                                                                     |
|                                |                                                              |      | 2 – Аналоговий вхід (клема 8)                                                                                                           | Управління з терміналу<br>Програмування з LECOM/пульту              |
|                                |                                                              |      | 3 - LECOM                                                                                                                               |                                                                     |
| 4 – Аналоговий вхід (клема 8)  | Управління з терміналу<br>Програмування з LECOM/пульту       |      |                                                                                                                                         |                                                                     |
| 5 – кнопками «и»               |                                                              |      |                                                                                                                                         |                                                                     |
| 6 – Аналоговий вхід (клема 8)  |                                                              |      |                                                                                                                                         |                                                                     |
| 7 – кнопками та                |                                                              |      |                                                                                                                                         |                                                                     |
| 8 – Аналоговий вхід (клема 8)  | Управління з терміналу<br>Програмування з віддаленого пульта |      |                                                                                                                                         |                                                                     |
| 9 – кнопками «и»               |                                                              |      |                                                                                                                                         |                                                                     |
| 10 – Аналоговий вхід (клема 8) |                                                              |      |                                                                                                                                         |                                                                     |
| C02                            | Повернення до заводських уставок                             | 0    | 0 – Неактивована<br>1 – Повернення до заводських уставок                                                                                |                                                                     |
| CE1                            | Конфігурація цифрового входу E1                              | 1    | 1 – фікс. швидкість 1 (JOG1)<br>2 – фікс. швидкість 2 (JOG2)<br>3 – динамічне гальмування<br>4 напрямок обертання<br>5 – Швидка зупинка | LOW за г.с. HIGH проти г.с. Обидва терміналу – LOW – швидка зупинка |

Продовження таблиці 2.5

| Код        | Параметр                        | Зав. | Доступні значення                                                                                                                                                                                                                                                     | Примітки                                                                              |
|------------|---------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CE2</b> | Конфігурація цифрового входу E2 | 4    | 6 – обертання за г.с.<br>7 – обертання проти г.с.<br>8 – UP (збільшення уставки C46)<br>9 – DOWN (зниження уставки C46)<br>10 – «Аварія» – установка<br>11 – «Аварія» – скидання                                                                                      | i DOWN – LOW: –<br>ф-ія «Швидке зупинення»<br>Використовуйте NC контакти швидкодіючі  |
| <b>E3</b>  | Конфігурація цифрового входу E3 | 3    |                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0 – вкл. Тригера «EEr»                                                                |
| <b>C08</b> | Конфігурація релейного виходу   | 1    | 1 – несправність<br>2 – двигун обертається<br>3 – двигун обертається за г.с.<br>4 – двигун обертається проти г.с.<br>5 – вихідна частота = 0 Гц<br>6 – вийшов на задану частоту<br>7 – перевищення (C17) порогу $f_{min}$<br>8 – досягнення напруги межі – готовність | При настанні обраної події контакти K14 замикаються                                   |
| <b>C09</b> | Адреса в сітці                  | 1    | 1...247                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                       |
| <b>C10</b> | Мінімальна вихідна частота      | 0.0  | 0...240 Гц                                                                                                                                                                                                                                                            | Вихідна частота при 0% аналогового завдання C10 розробляються в режимах JOG і C01 = 1 |
| <b>C11</b> | Максимальна вихідна частота     | 50.0 | 7,5...240 Гц                                                                                                                                                                                                                                                          | Вихідна частота при 100% аналоговому завданні                                         |
| <b>C12</b> | Час розгону                     | 5.0  | 0...999 с                                                                                                                                                                                                                                                             | Частота від 0 Гц до C11                                                               |
| <b>C13</b> | Час розгону                     | 5.0  | 0...999 с                                                                                                                                                                                                                                                             | Частота овід C11 до 0 Гц                                                              |

Продовження таблиці 2.5

| Код | Параметр                                       | Зав. | Доступні значення                                                                                                                                                | Примітки                                                                                                                                             |
|-----|------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C14 | Закон керування V/f                            | 2    | 2 – лінійна характеристика $V \sim f$<br>3 – квадратична характеристика $V \sim f^2$                                                                             | Ідентифікація параметрів двигуна у параметрі C0148! По іншому експлуатація не можлива.                                                               |
|     |                                                |      | 4 – Векторне керування                                                                                                                                           |                                                                                                                                                      |
|     |                                                |      | 5 – Бездатчикове керування моментом з обмеженням швидкості<br>- уставка моменту в C0412/6<br>- обмеження швидкості в уставці 1 (NSET1-N1), при заданому C0412/1. |                                                                                                                                                      |
| C15 | Базова частота характеристик                   | 50.0 | 25...999 Гц                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                      |
| C16 | Vmin boost<br>Напруга в момент запуску двигуна | 6.0  | 0...40% Дозволяє оптимізувати момент на нижній швидкості                                                                                                         | Для стандартного застосування встановити $C15 = f_{дв.ном}$<br> |
| C17 | Fmin<br>Поріг частоти                          | 0.0  | 0...240 Гц                                                                                                                                                       | Умова: C08=7                                                                                                                                         |
| C18 | Частота модуляції                              | 2    | 0-4 кГц<br>1-6 кГц<br>2-8 кГц<br>3-10 кГц                                                                                                                        | Автоматичний перехід на 4 кГц при зростанні струму до 1.2 Іном. Чим вище частота тим менше шум двигуна                                               |

Продовження таблиці 2.5

| Код        | Параметр                                         | Зав. | Доступні значення                                             | Примітки                                                                                                        |
|------------|--------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>C21</b> | Компенсація ковзання (жорсткість)                | 0.0  | 0...40%                                                       | Змінійте C21 до тих пір, поки швидкість двигуна на холостому ходу відрізняється від швидкості під навантаженням |
| <b>C22</b> | Обмеження вихідного струму перетворювача         | 150  | 30...150 Іном перетворювача                                   | Настроюється на номінальне значення струму двигуна                                                              |
| <b>C24</b> | Прискорений розгін                               | 0.0  | 0.0...20.0 %                                                  | Активно тільки під час розгону                                                                                  |
| <b>C34</b> | Конфігурація аналогового входу                   | 0    | 0 – 0...10 В<br>1 – 0...5 В<br>2 – 0...20 мА<br>3 – 4...20 мА |                                                                                                                 |
| <b>C36</b> | Рівень напруги при гальмуванні постійним струмом | 4.0  | 0...50%                                                       |                                                                                                                 |
| <b>C37</b> | Фіксована швидкість1 (JOG1)                      | 20.0 | 0...240 Гц                                                    |                                                                                                                 |
| <b>C38</b> | Фіксована швидкість 2 (JOG2)                     | 30.0 | 0...240Гц                                                     |                                                                                                                 |
| <b>C39</b> | Фіксована швидкість3 (JOG3)                      | 40.0 | 0...240 Гц                                                    |                                                                                                                 |
| <b>C46</b> | Задана частота                                   |      | 0...240 Гц                                                    | Завдання через аналоговий вхід або функцію UP/DOWN /DOWN /DOWN DOWN                                             |
| <b>C50</b> | Індикація вихідної частини                       |      | 0...240 Гц                                                    |                                                                                                                 |

Продовження таблиці 2.5

| Код        | Параметр                                     | Зав.  | Доступні значення                                                                                                                                                                                              | Примітки                                                              |
|------------|----------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>C53</b> | Індикація напруги ланки постійного струму    |       | 0...255 Гц                                                                                                                                                                                                     |                                                                       |
| <b>C54</b> | Індикація струму                             |       | 0...255 Гц                                                                                                                                                                                                     |                                                                       |
| <b>C90</b> | Вибір вхідної напруги                        | 0     | 0 – авто<br>1 – LOW<br>2 – HIGH                                                                                                                                                                                | 200...400В вхід<br>240...480В вхід                                    |
| <b>C94</b> | Пароль користувача                           | 0     | 0...999<br>0 – нема пароля                                                                                                                                                                                     | Якщо C94 не 0 то необхідне введення пароля для доступу до параметрів  |
| <b>C99</b> | Версія програмного забезпечення              |       |                                                                                                                                                                                                                |                                                                       |
| <b>c06</b> | Час гальмування постійним струмом (Auto-DCB) | 0.0   | 0...999 з 0 – не працює<br>999 – тривале гальмування                                                                                                                                                           | Автоматична зупинка при зменшенні частоти нижче 0,1 Гц за заданий час |
| <b>c08</b> | Масштаб аналогового виходу                   | 100.0 | 0...999                                                                                                                                                                                                        | 10 VDC виходу 62 еквівалентно значенням (див. C11)                    |
| <b>c11</b> | Конфігурація аналогового виходу 62           | 0     | 0 – немає<br>1 – пропорції. вих. частота 0-10VDC<br>2 – пропорції. вих. частота 2-10VDC<br>3 – пропорції. струм навантаження 0-10VDC<br>4 – пропорції. струм навантаження 2-10VDC<br>5 – динамічне гальмування | Використовувати c08 для масштабування сигналу                         |

Продовження таблиці 2.5

| Код | Параметр                                 | Зав. | Доступні значення                                                                                                                                                                                                                                 | Примітки                                                                                       |
|-----|------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| c17 | Конфігурація цифрового виходу (A1)       | 0    | 0 – готовий<br>1 – помилка<br>2 – двигун обертається<br>3 – двигун обертається за г.с.<br>4 – двигун обертається проти г.с.<br>5 – вих. частота = 0 Гц<br>6 – частота досягла уставки<br>7 – поріг (C17) перевищений<br>8 – струм досяг максимуму |                                                                                                |
| c20 | I <sup>2</sup> t Тепловий захист двигуна | 100  | 30...100% In<br>(In – ном. Вих. Струм перетворювача)                                                                                                                                                                                              | Тепловий захист вбудований в ПЧ, реалізована за допомогою розрахунку значення I <sup>2</sup> t |
| c40 | Завдання частоти кнопками або Modbus     | 0.0  | 0...240 Гц                                                                                                                                                                                                                                        | Можливо лише коли C01 встановлена у відповідне положення                                       |
| c42 | Умови запуску двигуна                    | 1    | 0 – запуск після переходу LOW HIGH на клемі 28<br>1 – Автоматичний запуск якщо на клемі 28 = HIGH                                                                                                                                                 |                                                                                                |
| c61 | Поточне повідомлення                     |      | Індикація стану привода і повідомлення про помилки                                                                                                                                                                                                |                                                                                                |
| c62 | Поточне повідомлення                     |      |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                |
| c63 | Передостання повідомлення                |      |                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                |

Продовження таблиці 2.5

| Код        | Параметр                                                              | Зав. | Доступні значення                                                                                                                                                                | Примітки                                                        |
|------------|-----------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>c70</b> | Реле несправності зняття блокування                                   | 0    | якщо<br>– На клеми 28 низький рівень;<br>– ПЧ відключений від мережі<br>– «Аварія скидання» (див. СЕ1...3)<br>– Автоматичне зняття блокування через час С710 – Зняття блокування |                                                                 |
| <b>c71</b> | Час зняття блокування                                                 | 0.0  | 0...60 с                                                                                                                                                                         |                                                                 |
| <b>c78</b> | Лічильник часу роботи                                                 |      | В режимі «Пуск» Сумарний час роботи                                                                                                                                              |                                                                 |
| <b>C79</b> | Лічильник часу увімкнення                                             |      | Повний час роботи в сітці                                                                                                                                                        |                                                                 |
| <b>n20</b> | Стан при увімкненні                                                   | 0    | 1 Заборона ПЧ0 Швидка зупинка                                                                                                                                                    |                                                                 |
| <b>n22</b> | Дія після закінчення часу опитування послідовного порту (клеми 71,72) | 0    | 1 Заборона ПЧ<br>2 Швидка зупинка<br>3 Вивід повідомлення про помилку0 Не активно                                                                                                | Вибір реакції перетворювача на закінчення часу опитування       |
| <b>n23</b> | Час опитування                                                        | 50   | 50...65 535 мс                                                                                                                                                                   | Встановіть час опитування після послідовно порту (клеми 71, 72) |

## 2.7 Повідомлення про стан привода та коди помилок

Під час роботи перетворювача частоти усі дані, що інформують про стан приводу відображаються на його дисплеї. У разі виникнення збоїв в його роботі або помилки, то дана подія також відображається на дисплеї. Дані на дисплеї відображаються у закодованому стані, кожному коду відповідає конкретне повідомлення про стан або помилку. Коди стану та помилок приводу, їх опис, причини виникнення і можливі варіанти виправлення вказані в таблиці 2.6 і таблиці 2.7 [8].

Таблиця 2.6– Повідомлення про стан привода

| Стан приводу |                                    | Причина                              | Виправлення                           |
|--------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Код          | Описання                           |                                      |                                       |
| e.g.50.0     | Вихідна частота                    | Безаварійна робота                   |                                       |
| OFF          | Зупинка                            | Низький рівень клем 28               |                                       |
| Inh          | Відмова по виходам U,V,W           | Відсутня уставка завдання (див. C01) |                                       |
| StP          | Вихідна частота 0Гц                | Завдання частоти 0                   | Виправити завдання на 0               |
|              |                                    | Активована функція «швидка зупинка»  | Деактивувати функцію «Швидка зупинка» |
| LC           | Блокування автоматичного запуску   | c42=0                                | Виправити потенціал клеми 28 з 0 на 1 |
| br           | Гальмування постійним струмом      | Активована функція «Гальмування DC»  | Деактивувати функцію «Гальмування DC» |
| CL           | Досягнутий рівень обмеження струму | Контрольоване перевантаження         | Автоматично (см. C22)                 |
| LU           | Недостатня напруга                 | Занадто мала напруга живлячої мережі | Перевірити живлячу напругу            |

Продовження таблиці 2.6

| Стан приводу |                             | Причина                                               | Виправлення                                          |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Код          | Описання                    |                                                       |                                                      |
| <b>DEC</b>   | Перенапруга при гальмуванні | Занадто велике навантаження                           | Якщо перенапруга більше 1 с привод переходе в ОУ     |
| <b>nED</b>   | Коди заблоковано            | Вийти з цього режиму можна тільки при зупинці приводу | Подати на клему 28 сигнал низького рівня             |
| <b>rC</b>    | Активна віддалена панель    | Спроба використати кнопку на панелі контролера        | Кнопки не активні при використанні віддаленої панелі |

Таблиця 2.7– Повідомлення про помилки приводу

| Повідомлення про помилку |                                 | Причина                                    | Виправлення                                                |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Код                      | Описання                        |                                            |                                                            |
| <b>cF</b>                | Помилка даних                   | Невірні дані                               | 1. Виправити дані<br>2. Повернути заводські настройки      |
| <b>CF</b>                |                                 | Помилка даних                              |                                                            |
| <b>FI</b>                | Помилка приводу                 | ПЧ «завис» або несправний                  | 1. Вимкніть живлення та перезапустіть ПЧ<br>2. Замініть ПЧ |
| <b>CFG</b>               | Неоднозначна конфігурація       | Входів E1...E3 присвоєні однакові ф-ції    | Кожна функція може назначатися лише один раз               |
|                          |                                 | Увімкнена функція UP або DOWN              | Перевірити правильність підключення ланцюгів керування     |
| <b>dF</b>                | Помилка динамічного гальмування | Перегрів резистора динамічного гальмування | Збільшити час сповільнення                                 |
| <b>EEr</b>               | Зовнішня помилка                | Тригер «Аварія» активний                   | Ліквідувати зовнішню помилку                               |

Продовження таблиці 2.7

| Повідомлення про помилку |                                                     | Причина                                                                            | Виправлення                                                           |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Код                      | Описання                                            |                                                                                    |                                                                       |
| <b>F2<br/>FO<br/>JF</b>  | Внутрішня помилка                                   |                                                                                    | Повернути ПЧ для перевірки та ремонту                                 |
| <b>OC1</b>               | Коротке замикання або помилка перетворювача частоти | Коротке замикання                                                                  | Найти та усунути причину короткого замикання                          |
|                          |                                                     | Занадто малий час розгону розгін c12                                               | Збільшити час розгону<br>Неправильно вибраний ПЧ                      |
|                          |                                                     | Дефект кабеля двигуна                                                              | Замінити кабель                                                       |
|                          |                                                     | Несправність двигуна                                                               | Замінити двигун                                                       |
| <b>OC2</b>               | Замикання на землю                                  | Замикання на землю на виході перетворювача                                         | Перевірити з'єднання між ПЧ і двигуном<br>Перевірити ізоляцію двигуна |
| <b>OC6</b>               | Перевантаження двигуна                              | Занадто велике значення I2t<br>Занадто часті або тривалі гальмування і прискорення | Перевірити налаштування теплового захисту та навантаження двигуна.    |
| <b>OH</b>                | Перегрів ПЧ                                         | Підвищена температура ПЧ                                                           | Зменшити навантаження<br>Покращити охолодження                        |
| <b>OU</b>                | Перевантаження по ланцюгам постійного струму        | Підвищена напруга мережі                                                           | Перевірити живлення                                                   |
|                          |                                                     | Малий час гальмування                                                              | Збільшити час гальмування                                             |
| <b>OU</b>                | Перевантаження по ланцюгам постійного струму        | Підвищена напруга мережі                                                           | Перевірити живлення                                                   |
|                          |                                                     | Малий час гальмування                                                              | Збільшити час гальмування                                             |

Продовження таблиці 2.7

| Повідомлення про помилку |                                                 | Причина                       | Виправлення                 |
|--------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Код                      | Описання                                        |                               |                             |
| <b>rSt</b>               | Автоматичне скидання тригера «Аварія» неможливе | Більше 8 помилок за 10 хвилин | В залежності від помилки    |
| <b>SF</b>                | Обрив фази                                      | Обрив фази живлення           | Перевірити напругу живлення |

## 2.8 Особливості програмування перетворювача ETML 371 X2SFA

На відміну від перетворювача ESMD 751L4TXA однофазний ПЧ ETML 371 X2SFA має більш широкі можливості, а саме:

- векторне керування швидкістю і моментний режим;
- використання розширених характеристик  $V/f$ .

Розглянемо особливості кожного із цих режимів та спосіб їх реалізації.

**Векторний режим.** Векторний режим використовується при керуванні шнековим дозатором, навантаженим конвеєром, вантажопідйомним механізмом... Якщо привод встановлюється в систему (намотка рулонів паперу, протяжка проводки та інше) то використовується моментний режим керування. Розширена характеристика  $V/f$  використовується у випадку: керування декількома однаковими двигунами, коли потрібні дані двигуна не доступні, коли векторний режим приводить до не стабільності системи.

**Векторне керування швидкістю та моментний режим.** Для реалізації даного режиму необхідно:

1. З'єднати ПЧ з двигуном відповідно схемі;
2. Подати живлення на ПЧ;
3. Встановити параметр  $C14 = 4$  для векторного режиму, або  $C14 = 5$  для моментного режиму;
4. Встановити параметри  $C86...C91$  згідно з даними двигуна;

5. Встановити  $s_{48} = 1$  для авто настройки перетворювача згідно даним двигуна;

6. Подати високий рівень напруги на клему 28. На дисплеї буде мигати напис CAL впродовж 40 секунд. Параметр  $S_{48}$  встановиться в значення 2, після чого необхідно знову подати високий рівень напруги на клему 28 для запуску двигуна.

**Розширена характеристика V/f.** Для реалізації розширеного режиму V/f необхідно виконати наступні дії:

1. З'єднати ПЧ з двигуном відповідно схемі;
2. Подати живлення на ПЧ;
3. Встановити параметр  $S_{14} = 6$  для вибору розширеної характеристики з автоматичним вибором пускової напруги, або  $S_{14} = 7$  для вибору розширеної характеристики з постійною пусковою напругою;
4. Встановити параметр  $S_{88} \dots S_{90}$  у відповідності з даними двигуна.

## 2.9 Асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором

Кожен асинхронний електродвигун характеризується номінальними даними за якими його обирають для використання в конкретному електроприводі. Корисна потужність, на яку розраховано електродвигун за умовами нагріву та тривалості безвідмовної роботи, називається номінальною. Усі величини, що характеризують роботу двигуна при номінальній потужності, називаються номінальними. Номінальні дані двигуна вказані в паспортній таблиці яка прикріплена до корпусу двигуна.

В паспорті приводяться наступні данні: тип двигуна; число фаз –  $m$ ; частота струму –  $f$ , Гц; номінальна потужність на валу –  $P$ , кВт; лінійна напруга живлення –  $U$ , В; схема з'єднання фаз; лінійний струм –  $I$ , А; коефіцієнт корисної дії –  $\eta$ , %; номінальна частота обертання ротора двигуна –  $n$ , об/хв; коефіцієнт потужності –  $\cos \varphi$ ; режим роботи; клас ізоляції.

Окрім даних зазначених в паспорті, електродвигун має ряд важливих характеристик, а саме: ковзання, перевантажувальна здатність, кратність пускового струму, кратність пускового моменту. Усі зазначені величини є ключовими для механічної та електромеханічної характеристик двигуна. Розглянемо більш детально кожен із зазначених характеристик двигуна, та особливості його пуску і роботи.

Відношення різниці частоти обертання ротора до синхронної частоти називається ковзанням. Ковзання може бути виражене у відносних величинах або відсотках:

$$S = \frac{n}{n_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1};$$

$$S_{\%} = 100 \frac{n}{n_1} = 100 \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

де  $n_1$  – синхронна частота обертання, об/хв;  $n_2$  – частота обертання ротора, об/хв;  $n$  – різниця частот обертання ротора і синхронної частоти обертання, об/хв.

Під впливом підведеної до статора напруги  $U_1$  в його обмотках протікає струм  $I_1$ . Цей струм створює обертальний магнітний потік  $\Phi$ , що замикається через статор і ротор. Потік створює в обох обмотках е.р.с.  $E_1$  та  $E_2$  як в первинній та вторинній обмотках трансформатора. Таким чином, асинхронний двигун схожий з трифазним трансформатором, в якому е.р.с. створюється обертальним магнітним потоком [9].

Частота обертання магнітного потоку називається синхронною частотою  $n_1$ . Частота обертання ротора визначається за формулою

$$n_2 = n_1(1 - S) = 120f \frac{1 - S}{2p},$$

де  $f$  – частота живлячої мережі;  $S$  – ковзання;  $2p$  – число пар полюсів статора.

Теоретично ковзання змінюється від 1 до 0 або від 100% до 0%, оскільки при нерухомому роторі в перший момент пуску  $n_2 = 0$ , а якщо уявити, що ротор обертається синхронно з потоком,  $n_2 = n_1$ .

Чим більше навантаження на валу, тим менша швидкість ротора і більше ковзання, оскільки великий гальмівний момент повинен урівнятися обертальним моментом. Ковзання при номінальному навантаженні  $S_n$  у асинхронних двигунів рівно від 1 до 7%.

Загальні механічні та електромеханічні характеристики асинхронного електродвигуна зображені на рисунку 2.10.

Механічною характеристикою називається залежність моменту від ковзання при постійній напрузі і частоті живлячої мережі, електромеханічними – залежність струму від ковзання при постійній напрузі і частоті живлячої мережі.

При запуску двигун розвиває пусковий момент  $M_n (S = 1)$ ; якщо пусковий момент більше моменту опору робочої машини  $M_c$ , то двигун запуститься. В точці найбільшого вигину характеристики двигун розвиває максимальний момент  $M_{кд}$  для режиму двигуна і  $M_{кз}$  для генераторного режиму. Ковзання, якому відповідає максимальний момент, називається критичним ковзанням:  $S_k$  – для режиму двигуна,  $S_{kz}$  – для генераторного режиму. При збільшенні моменту  $M_c$  вище  $M_k$  ковзання швидко зростає і ротор двигуна зупиняється [9].

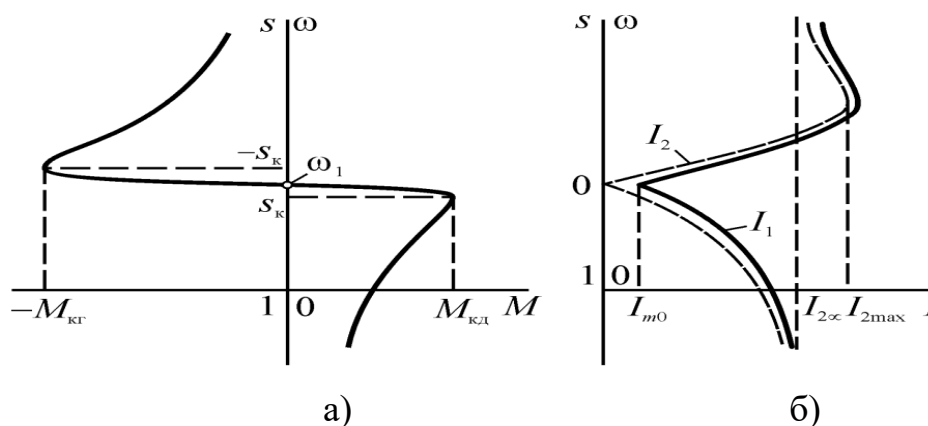


Рисунок 2.10– Загальні механічні - а) та електромеханічні - б) характеристики асинхронного двигуна.

Відношення пускового моменту до номінального називається кратністю пускового моменту:

$$\frac{M_n}{M_n}$$

Відношення максимального моменту до номінального називається перевантажувальною здатністю двигуна:

$$\frac{M_k}{M_n}$$

Асинхронний двигун запускається прямим включенням до мережі живлення, оскільки в момент запуску ротор двигуна має початкову швидкість рівну 0, то в обмотках статора протікає струм  $I_n$ , який значно перевищує струм при номінальній частоті обертання ротора  $I_n$ . Відношення пускового струму до номінального називається кратністю пускового струму:

$$\frac{I_n}{I_n}$$

В лабораторному стенді перетворювачі частоти працюють на асинхронний електродвигун з короткозамкнутим ротором фірми WEG. Даний двигун виконаний в закритому корпусі з само вентиляцією і має наступні характеристики [8]:

- Температурний клас ізоляції F;
- Ступінь захисту IP55;
- Температурний датчик РТО для захисту від перегріву;
- Корпус двигуна виконаний із алюмінію;
- Виконання з фланцем В5.

В стенді використовуються двигуни W22-63 4 В3Т 0,18 та AL63-04(0.18)В3Т. Дані двигуни є трьохфазними 4-х полюсними двигунами з напругою живлення 230/400 В при 50 Гц або 275/480 В при 60 Гц. Двигуни однакового виконання та з однаковими характеристиками, єдина різниця – матеріал станини (чавун та дюралюміній відповідно). Кожен двигун має хороші

динамічні якості і безшумний в роботі; об'єднує в собі високу якість, надійність та економічність. За рахунок виконання «на лапах» легко піддається центронуванню.

Основні технічні характеристики електродвигуна вказані в таблиці 2.8 [8].

Таблиця 2.8– Технічні характеристики двигуна W22-63 4 ВЗТ 0,18

| Двигун               | $P$ ,<br>кВт | $I$ , А при<br>230В | $N$ ,<br>об/хв. | $\cos \varphi$ | ККД<br>$\eta$ , % | $\frac{I_n}{I_n}$ | $\frac{M_n}{M_n}$ | $\frac{M_k}{M_n}$ | $m$ , кг |
|----------------------|--------------|---------------------|-----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|
| W22-63 4 ВЗТ<br>0,18 | 0,18         | 0,57                | 1360            | 0,74           | 87                | 3,6               | 1,8               | 1,9               | 6,2      |

Зовнішній вигляд двигуна показано на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11– Зовнішній вигляд двигуна.

## РОЗДІЛ 3

### ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Розвиток існуючої лабораторної бази йде шляхом створення нових і сучасних лабораторних установок. Тому в даному дипломному проекті розроблено стенд з електротехнічних дисциплін, на базі сучасного частотного перетворювача фірми Lenze серії 8200.

#### 3.1 Структурна схема лабораторного стенда

Однофазні перетворювачі частоти (ПЧ) Lenze серії 8200 підключені до мережі через автоматичні вимикачі. До кожного з перетворювачів підключено гальмівні резистори (для розсіювання потужності накопиченої при гальмуванні) та асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором (з'єднання трикутником). Вали асинхронних двигунів механічно з'єднанні через втулочно пальцеву муфту, на зворотню сторону одного з двигунів через муфту встановлений енкодер.

Асинхронні двигуни однакового габариту (габарит 63) та виконання («на лапах»), завдяки цьому вони легко піддаються центруванню.

За планом лабораторних робіт планується використовувати ПЧ потужністю 550 Вт як приводний, а ПЧ потужністю 1,5 кВт – як гальмівний (запас потужності та підключений гальмівний резистор дозволяють це зробити в не аварійному режимі). Для роботи потужнішого ПЧ в гальмівному режимі встановлюється скалярний спосіб керування, а для ПЧ на 550 Вт є можливість зміни типу керування: скалярний (лінійна або квадратична характеристика) або векторний (підтримка швидкості або підтримка моменту).

На кожному ПЧ задається бажана швидкість обертання валу двигуна, однак, оскільки вали двигунів механічно з'єднані, швидкість на валу буде більшою з двох заданих (для проведення лабораторних робіт по дослідженню привода принципово важливо, щоб більша швидкість задавалася на меншому

ПЧ). Оскільки гальмівний ПЧ має розсіювати накопичено від гальмування потужність він вибраний більшого номіналу та має гальмівний резистор. Гальмівний резистор підключається транзисторним ключем, що встановлений у ПЧ до шини постійного струму, коли напруга на ній перевищує заданий поріг. З зовнішнім гальмівним резистором процес гальмування завжди керований.

Перетворювачі частоти обладнані всіма необхідними захистами і при відсутності гальмівних резисторів здатні провести аварійне відключення, але правильна, стабільна та тривала робота з інерційними навантаженнями або генераторами завжди полягає в їх наявності. Через протікання по резистору досить великого струму гальмування на ньому розсіюється велика потужність і він нагрівається. Для захисту складових частин частотного перетворювача до нього підключається температурний датчик встановлений на гальмівному резисторі.

На ПЧ 550Вт гальмівний резистор встановлено на випадок неправильного завдання швидкості на перетворювачах (на випадок, якщо менший ПЧ стане гальмівним, а більший - приводним).



Рисунок 3.1– Структурна схема лабораторного стенда

### 3.2 Склад лабораторного стенда

Основними елементами електропривода на основі якого спроектовано лабораторний стенд є частотні перетворювачі Lenze 8200 E82EV551K2C, E82EV152K2C та асинхронні електродвигуни WEG W22-63 4 B3T 0,18, WEG AL63-04(0.18)B3T. Детальний опис даних елементів та їх технічні

характеристики приведені в розділі 2. Але окрім вищерозглянутих елементів, до складу лабораторного стенда також входять:

- датчик швидкості;
- тахометр.

Дані елементи вибрані таким чином, щоб їх параметри повністю узгоджувались з перетворювачем частоти та асинхронним двигуном, які були обрані як основа лабораторного комплексу. Розглянемо дані елементи, та їх технічні характеристики.

### 3.2.1 Датчик швидкості

В якості датчика швидкості використовується інкрементальний (оптичний) енкодер E40S8 фірми Autonics (рис. 3.2). Енкодер є перетворювачем кутових переміщень і виконує синхронне перетворення аналогової величини кута повороту вхідного валу в послідовність прямокутних електричних імпульсів, що мають координатно-періодичний характер. При цьому часовий характер сигналу пропорційний діючій величині вимірюваної швидкості, а число імпульсів кратні величині переміщення [8].



Рисунок 3.2– Зовнішній вигляд енкодера E40S8

Даний енкодер можна використовувати в системі як датчик кута, положення, швидкості та прискорення вала електродвигуна.

Конструктивно енкодер виконано так, що в середині нього жорстко з валом закріплений скляний диск з темними рисками (рис. 3.3). По різні сторони диска розміщені джерело світла та фотоприймач. Кількість світла що припадає на фотоприймач змінюється в залежності від положення рисок. Електронна плата перетворює сигнал з фотоприймача в дискретний сигнал. Кількість імпульсів сигналу на один оберт валу в самому простому випадку збігається з кількістю рисок на диску оптичного енкодера. Вихідний сигнал має два канали, в яких імпульси здвигнені на 90 градусів один відносно одного (рис. 3.4). Це дає змогу визначати напрям обертання валу.

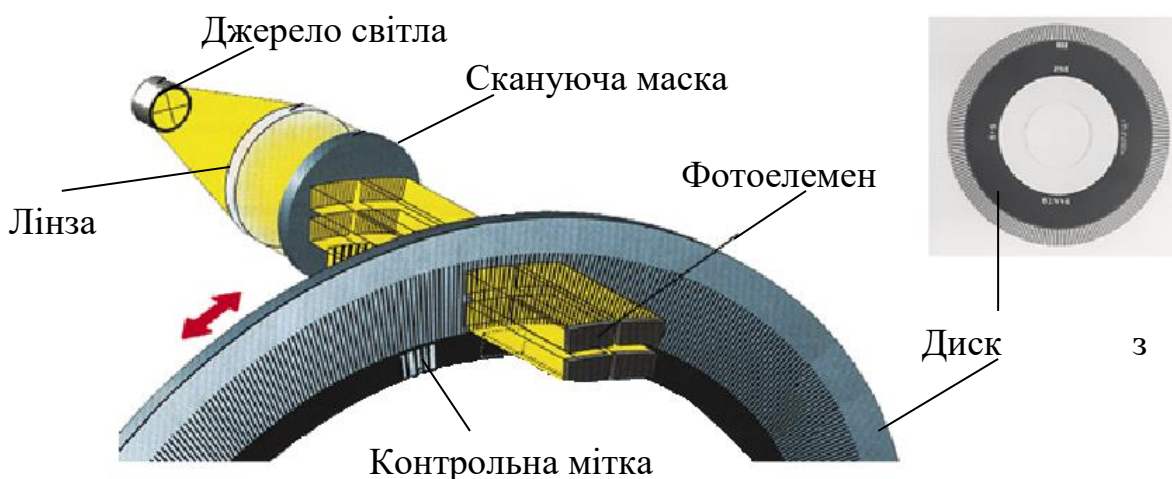


Рисунок 3.3– Принцип дії оптичного енкодера

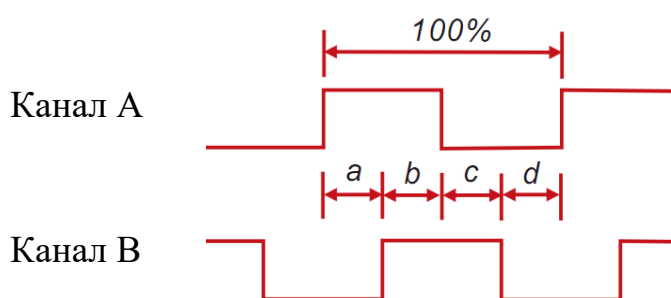


Рисунок 3.4– Форма вихідного сигналу енкодера

Технічні характеристики інкрементального енкодера E40S8:

- максимальна частота обертання: до 180 кГц;
- напруга живлення: 5...24 В постійного струму;
- робоча температура: від -20 до +70 °С;

- ступінь захисту: IP 50;
- розміри: зовнішній діаметр 40 мм, діаметр вала 6 мм;
- роздільна здатність: 1...300 імп/оберт.

Оскільки в стенді датчик швидкості призначений для виконання порівняно простих технологічних задач, то енкодер вибрано двофазний (фази А, В), для визначення напрямку та величини кутового переміщення валу електродвигуна. Підключення датчика виконується безпосередньо до перетворювача частоти який має декілька дискретних високочастотних входів, живлення датчик отримує також від перетворювача (5 В DC). Енкодер може використовуватись, наприклад, для точного підтримання швидкості обертання валу асинхронного електродвигуна при векторному режимі роботи перетворювача.

З'єднання вхідного валу енкодера з валом електродвигуна виконується механічно:

- за допомогою гнучкої перехідної муфти;
- за допомогою спеціальної жорсткої втулки.

В першому випадку корпус енкодера жорстко закріплюється на корпусі механізму, а не співвісності та биття компенсуються деформацією гнучкої втулки. В іншому випадку за допомогою штифта корпуса і механізму фіксують від повертання один відносно одного.

### 3.2.2 Тахометр

Тахометр — прилад, призначений для вимірювання числа обертів деталей механізмів, що обертаються, в одиницю часу або лінійної швидкості. Вимірювання може бути контактним або безконтактним залежно від типу датчика швидкості обертання (енкодер, індуктивний, ємнісний або фотодатчик).

Підрахунок здійснюється шляхом реєстрації кількості імпульсів, що надійшли від датчика, тривалості паузи між імпульсами, а також порядку

надходження імпульсів від датчиків. Крім того, тахометр може бути використаний в якості лічильника імпульсів, наприклад, при підрахунку продукції на конвеєрі, витрат сировини, матеріалів, часу напрацювання устаткування, машин і механізмів при випробуваннях та обкатці. Підрахунок/вимір здійснюється в прямому, зворотному або в обох напрямках. Вимірювана величина може бути заздалегідь програмно масштабована в реальні одиниці виміру (години, хвилини, метри, штуки, пакунки тощо).

В якості датчика швидкості використовується тахометр MP5W фірми Autonics (рис. 3.5).

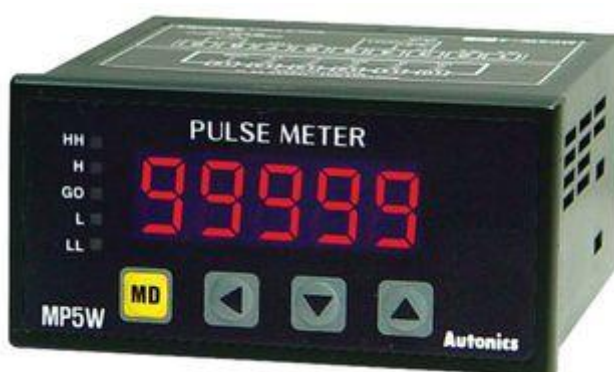


Рисунок 3.5— Зовнішній вигляд тахометра MP5W

Основні характеристики тахометру MP5W приведені далі.

Тринадцять різних режимів роботи: частота обертання, швидкість, частота, абсолютна швидкість, час проходження, частота помилок, період, густина, швидкість проходження, помилка, ширина вікна, вимірювання довжини, інтервал, інтегрування, множення.

Різні типи виходів: релейний вихід, вихід з відкритим колектором (NPN / PNP), низько швидкісний послідовний вихід, виходи для виведення даних в двійково-десятковому коді, струмовий вихід-повторювач регульованою змінною, інтерфейс передачі даних RS485.

Великий набір функцій: функція завдання шкали струмового виходу, функція контролю даних, функція завдання величини гістерезису, реєстрація найбільшого і найменшого значень вимірюваного параметра, функція

затримки, функція завдання часу автоматичної установки нуля, функція блокування, функція затримки відображення.

Діапазон індикації: -19999 ~ 99999 (MP5M: 0 ~ 99999).

Відображення різних одиниць вимірювання: rpm, rps, Hz, kHz, sec, min, m, mm, mm / s, m / s, m / min, m / h, ℓ / s, ℓ / min, ℓ / h, %, counts, і т.д.

Можливість вибору режиму входу: із зовнішнім живленням (PNP) або з живленням від внутрішнього джерела (NPN).

Максимальна робоча частота 50 кГц.

Тахометр має два канали, до яких можна підключати датчики (INA, INB), також обладнаний блоком живлення для датчиків 12 В постійної напруги та універсальний блок живлення від мережі – 100...240 В змінної напруги, клеми 4 та 5 – клеми дискретних входів (рис. 3.6).

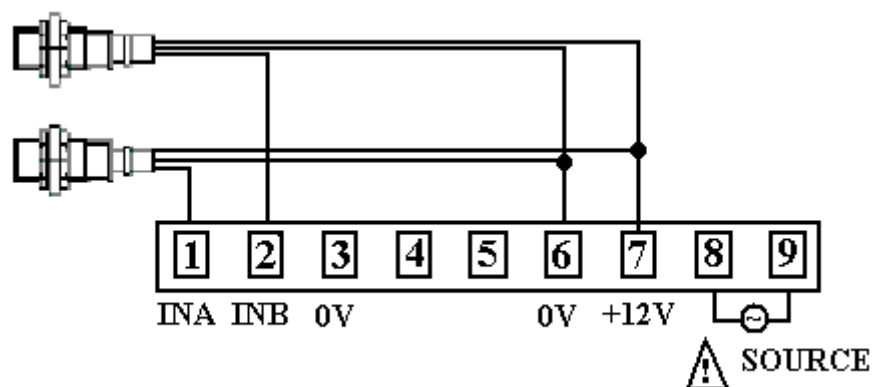


Рисунок 3.6– Схема підключення тахометра

### 3.3 Функціональна схема лабораторного стенда

Розглянувши усі елементи, що входять до складу лабораторного комплексу, та їх технічні характеристики, можна побудувати функціональну схему лабораторної установки (рис. 3.7). На функціональній схемі представлені конкретні елементи системи, їх з'єднання між собою, подача напруги живлення на силові елементи.

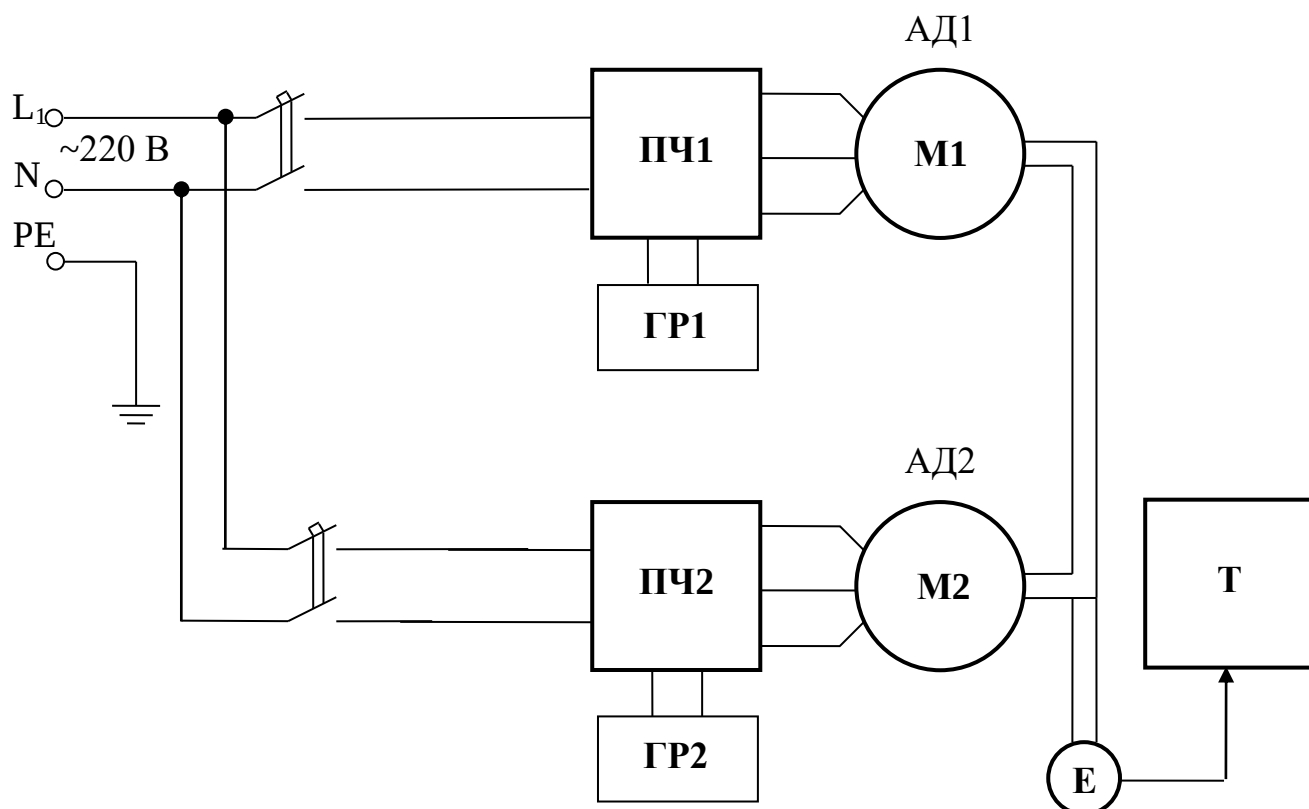


Рисунок 3.7– Функціональна схема лабораторного стенда:

ПЧ1 – перетворювач частоти Lenze 8200 E82EV551K2C;

ПЧ2 – перетворювач частоти Lenze 8200 E82EV152K2C;

АД1 – асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором WEG AL63-04(0.18)B3T; АД2 – асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором WEG W22-63 4 B3T 0,18; ГР1 – гальмівний резистор ERBM390R100W;

ГР2 – гальмівний резистор ERBP033R200W; Е – інкрементальний енкодер E40S8-100-3-T-24; Т – MP5W45 тахометр.

Асинхронні двигуни встановлені у металевій конструкції, що закрита плексигласом, муфтове з'єднання додатково закрите сталевим кожухом. В якості датчика швидкості обертання валу двигуна, використовується інкрементальний енкодер. Вхідний вал енкодера через муфту з'єднаний з валом електродвигуна і генерує дискретний вихідний сигнал у вигляді імпульсів, кількість яких пропорційна частоті обертання. Підключається енкодер до тахометру, який має для цього спеціальні цифрові входи, живлення (12 В

постійного струму) енкодер також отримує від тахометру. Окрім показчика частоти обертання вала двигуна, енкодер може використовувється в якості датчика зворотного зв'язку по швидкості при роботі перетворювача частоти в замкненому режимі, для цього його необхідно приєднати до клем ПЧ. Окрім частоти обертання енкодер дає інформацію про положення валу двигуна в будь який момент часу, що необхідно при роботі ПЧ в векторному режимі. Енкодер виконує синхронне перетворення аналогової величини кута повороту вхідного валу в послідовність прямокутних електричних імпульсів, що мають координатно-періодичний характер. При цьому часовий характер сигналу пропорційний діючій величині вимірюваної швидкості, а число імпульсів кратні величині переміщення.

### **3.4 Лабораторний практикум**

Розроблений лабораторний стенд призначений для виконання лабораторного практикуму при підготовці студентів що вивчають наступні дисципліни: «Теорія електроприводу», «Системи керування електроприводами», «Елементи систем автоматизованого електроприводу», «Комплектний електропривод», «Автоматизація типових технологічних процесів і промислових установок» та інші дисципліни, які пов'язані з вивченням електропривода та його елементів.

Лабораторні роботи допомагають студентам краще засвоїти вивчений теоретичний матеріал, зв'язати теорію з практикою, закріпити отримані знання, отримати практичні навички для постановки та проведення експериментів, а також по оформленню відповідних звітів.

Правильна організація лабораторних занять сприяє швидкому і продуктивному проведенню лабораторних робіт. Свідоме виконання студентами лабораторної роботи неможливо без попередньої підготовки. Тому до відома студентів повинен бути доведений графік проведення лабораторних робіт, який повинен неухильно виконуватися.

### 3.4.1 Вимоги до виконання лабораторних робіт

При підготовці до виконання лабораторної роботи студенти повторюють відповідний теоретичний матеріал, а також готують «кістяк» звіту. Перед допуском студента до робочого місця, якість підготовки до майбутньої лабораторної роботи має перевірятися викладачем, шляхом опитування та за допомогою контрольних завдань. При проведенні лабораторних занять навчальна група зазвичай розбивається на бригади. Розбиття на бригади може виконуватися старостою групи або викладачем. У кожній бригаді слід призначати старшого (бригадира), під відповідальність якого лаборантом видається необхідна апаратура, аксесуари, інструкції і т.п. Бригадир несе відповідальність за порядок на робочому місці і по закінченні лабораторного заняття здає робоче місце, а також все обладнання та документацію лаборанту.

На першому лабораторному занятті студенти повинні бути ознайомлені з правилами поведінки у лабораторії, правилами техніки безпеки і специфікою роботи на робочих місцях лабораторії, а також з вимогами, що пред'являються до оформлення звіту про виконану роботу. Інструктаж з техніки безпеки необхідно оформити особистими підписами учнів у спеціальному журналі.

Основні вимоги, що пред'являються до студентів, які виконують лабораторні роботи на розробленому стенді:

- студенти не підготовлені до роботи, не допускаються до її виконання;
- обов'язковою умовою допуску студента до чергової роботи є здача ним звіту по попередній роботі;
- студенти, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до лабораторних занять не допускаються;
- запізнюватися на заняття, самовільно займати і залишати робоче місце, відлучатися з лабораторії без дозволу викладача не можна;

- при наявності будь-яких несправностей, що виникли в процесі виконання роботи, необхідно негайно доповісти лаборанту чи викладачу;
- студенти несуть відповідальність за пошкодження устаткування та обладнання лабораторного комплексу які відбулися за їх вини;
- після виконання кожного пункту завдання, отримані результати необхідно показати викладачеві для перевірки;
- вносити будь які зміни в програму, яка керує роботою електропривода, дозволяється тільки за вказівкою викладача або лаборанта;
- після виконання лабораторної роботи студенти оформляють звіт і здають його для перевірки викладачу;
- студент, який пропустив планове лабораторне заняття або не встиг закінчити роботу в строк, виконує цю роботу в позаурочний час.

Після виконання лабораторної роботи студент зобов'язаний скласти звіт з аналізом отриманих результатів та відповідями на контрольні питання, які приводяться в описі лабораторної роботи. Звіт повинен містити назву і номер лабораторної роботи, мету роботи і її короткий зміст, схему досліджуваного пристрою, перелік використовуваної апаратури, таблиці з результатами вимірювань і обчислень, формули, по яких проводилися обчислення, і значення окремих розрахункових констант, графіки, висновки і відповіді на контрольні запитання. Бажано для оформлення звітів з лабораторних робіт мати спеціальні бланки, що полегшують студентам роботу. Записи у звітах повинні виконуватися чітко і акуратно без помарок. Оформлення тексту, таблиць, розрахунків та графіків повинно відповідати вимогам ГОСТ ЕСКД. Правильне оформлення звітів з лабораторних робіт виховує у студентів акуратність, чіткість мислення, послідовність викладення матеріалу.

### 3.4.2 Лабораторна робота №1

**Тема:** Ознайомлення зі стендом, знаходження статичних характеристик елементів стенда.

**Мета:** вивчення принципу роботи стенда.

Для вирішення поставленої мети розв'язуються наступні задачі:

- 1) набуття базових навичок програмування перетворювача частоти;
- 2) вивчення універсального вимірювального приладу MP5W45;
- 3) експериментальне дослідження статичних характеристик елементів стенду;
- 4) теоретичні побудови статичних характеристик елементів стенду та порівняння їх з експериментальними.

#### Пункт 1. Опис лабораторної установки

Навчальний стенд являє собою систему автоматичного керування частоти обертання асинхронного двигуна. Система працює за принципом векторного керування, де зміна всіх параметрів відбувається за допомогою перетворювача частоти (ПЧ) марки Lenze 8200 E82EV551K4C. Схема установки, реальний вид перетворювача та опис робочих клем подано на рис.1.1. та рис.1.2. відповідно. Головним елементом системи є ПЧ, який живиться від трифазної напруги 380 В. Програмування, завдання регульованої величини та моніторинг стану параметрів ПЧ відбувається за допомогою підключеного до нього промислового контролеру Tescomat Foxtrot CP-1005, що зв'язаний з ПК; або керуючих кнопок пульта (рис.1.3.) винесеного на лицеву панель щитка. Завдяки створеній програмі керування, ПЧ здійснює регулювання частотою обертання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором шляхом зміни частоти та амплітуди своєї вихідної напруги, відповідно до заданого закону керування. Всі параметри захисту та виміри електричних змінних відбуваються безпосередньо внутрішньою логікою ПЧ. Відстеження фактичної частоти обертання проводиться за допомогою енкодера та тахометра-спідометра зі струмовим виходом MP5W45. Навантаження асинхронного двигуна здійснюється

навантажувальною машиною (НМ), що являє собою асинхронний двигун. Навантаження задається за допомогою іншого ПЧ Lenze 8200 E82EV551K4C до якого підключено НМ. Регулювання навантаженням відбувається завдяки зміні швидкості на пульті керування ПЧ, або за допомогою контролера Тесомат Foxtrot CP-1005, який має зв'язок з ПК та ПЧ (ПЧ НМ працює в скалярному режимі). До обох ПЧ підключено гальмівні резистори для безпечного використання в режимі навантаження (оскільки на перетворювачах буде задаватись різна швидкість, то різниця енергії буде виділятися на гальмівному резисторі того ПЧ на якому швидкість завдана менше). Керування навантажувальним моментом за допомогою незалежного асинхронного двигуна дозволяє відтворювати навантаження у досить широких границях, а зв'язок з контролером надає можливість моделювати взагалі довільну форму цього навантаження, що має суттєвий науковий інтерес у дослідженні електромеханічних систем.

## Пункт 2. Основні теоретичні положення

Основним завданням частотного керування є дослідження роботи АД при різних зв'язках між каналами управління напругою і частотою живлення статора, що називають законами керування, а також визначення законів, що забезпечують оптимальні умови роботи двигуна в статичних і перехідних режимах.

У 1925 академік Костенко Михайло Полієвктович сформулював загальний закон, що забезпечує оптимальні умови роботи двигуна: щоб забезпечити оптимальний режим роботи АД при всіх значеннях частоти і навантаження, необхідно відносну напругу двигуна змінювати пропорційно добутку відносної частоти на корінь квадратний з відносного моменту:

$$\gamma = \alpha \sqrt{\mu}; \quad (1)$$

де  $\mu = M/M_{ном}$  – відносний електромагнітний момент. Якщо магнітне коло машини слабо насичене й активним опором статора можна знехтувати, то

асинхронний двигун (АД) в цьому випадку буде працювати при практично постійному коефіцієнті потужності, запасі статичної стійкості й абсолютному ковзанні.

Закон Костенко можна отримати з таких елементарних міркувань. Якщо припустити, що коефіцієнт перевантажувальної здатності при регулюванні залишається постійним, то критичний момент, що залежить від квадрата величини магнітного потоку, також повинен залишатися постійним і відношення моментів при двох різних частотах дорівнюватиме

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\Phi_1^2}{\Phi_2^2} \Rightarrow \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}. \quad (2)$$

Але якщо знехтувати активним опором статора, то напруга статора буде врівноважуватися ЕРС основного магнітного потоку і буде лінійно зв'язано з частотою і величиною магнітного потоку, а відношення напруг рівне

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\Phi_1 f_1}{\Phi_2 f_2}. \quad (3)$$

Підставляючи (2) в (3), отримаємо закон Костенко

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \Leftrightarrow \gamma = \alpha \sqrt{\mu}.$$

Для деяких простих випадків із закону Костенко можна виключити відносний момент. Вважаючи з точністю до ковзання  $\omega_1 \approx \omega$ , уявімо рівняння механічної характеристики навантаження степеневою функцією  $M = C\omega^k$  або, у відносних одиницях, як  $\mu = \alpha^k$ . Тоді вираз (1) набуде вигляду

$$\gamma = \alpha^{1+k/2}. \quad (4)$$

Звідси для типових видів навантаження отримаємо результати які наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1–Закони керування для типових видів навантаження

|                 | Вид навантаження                |                                         |                                                   |
|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                 | Статична<br>$M = const ; k = 0$ | Вентиляторна<br>$M = C\omega^k ; k = 2$ | Постійна потужність<br>$M\omega = const ; k = -1$ |
| Закон керування | $\gamma = \alpha$               | $\gamma = \alpha^2$                     | $\gamma = \sqrt{\alpha}$                          |

Ці закони керування є фактичним стандартом, закладеним у всі сучасні перетворювачі частоти широкого застосування.

Закон Костенко можна розглядати стосовно розімкнутих та замкнутих систем керування. Сутністю його є управління напругою (магнітним потоком) машини у функції навантаження на валу без безпосереднього її вимірювання. Якщо навантаження зменшується, то магнітний потік можна також зменшити, зменшивши напругу, але зберігши при цьому запас статичної стійкості.

Виведемо закон Костенко для випадку, коли момент навантаження не відомий:

$$M = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}{\omega};$$

$$\left( \frac{U_{\%}}{f_{\%}} \right)^2 = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}{\omega \cdot M_n};$$

$$\omega = \left( \frac{U_{\%}}{f_{\%}} \right)^2 \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \frac{\omega_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi} = \frac{f_{\%}^2 \cdot I_{\%}}{U_{\%}} \cdot \omega_n;$$

$$\omega = \frac{f^2 \cdot I_{\%} \cdot 220}{2500 \cdot U} \cdot \frac{1340}{2\pi}.$$

### Пункт 3. Порядок виконання роботи

Перетворювач частоти (ПЧ) вже має заводські налаштування на потужність двигуна відповідну потужності ПЧ і з розрахунком на двигун 1500 об/хв, 4-х полюсний.

Для першого включення достатньо подати на клема живлення L2, L3/N однофазну напругу 220 В (або на L1, L2, L3 трифазну напругу 220В).

НЕОБХІДНО ДОТРИМУВАТИСЬ ФАЗУВАННЯ. СУВОРО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ ЗАЗЕМЛЮВАТИ КЛЕМИ В + ТА (АБО) В-. Виводи 20, 28 повинні бути замкнуті (дозвіл на Start/Stop). На вихідних клемках U, V, W з'явиться керована напруга, частоту якої можна змінювати за допомогою панелі перетворювача або віддаленого пульта. Максимальну і мінімальну частоту, струм теплового захисту, логіку і закон керування можливо задавати за допомогою кодів налаштування. Налаштування ПЧ необхідно проводити при розімкнутих клемках 20 і 28. Цифрові входи (E1, E2, E3), аналоговий (8) і релейні виходи (K12, K14) конфігуруються згідно з таблицею налаштувань ПЧ.

Дистанційне керування ПЧ можливо за допомогою виносної клавіатури E82ZBC віддаленого пульта, для цього необхідно підключити тумблер на клеми 20-28 для дозволу пуску (кнопки Run і Stop не активні при розімкнутих клемках 20 – 28). Виконання лабораторних робіт проводиться виключно віддаленим пультом. ВИКОРИСТАННЯ КЕРУЮЧИХ КНОПОК НА ПАНЕЛІ ПЧ ЗАБОРОНЕНО. Для зміни завдання швидкості до клем 7, 8, 9 модулю входів/виходів "Standard" E82ZAFS підключено потенціометр.

Зняття статичних характеристик енкодера відбувається після перепрограмування приводного ПЧ (E82EV551K2C) на роботу у векторному режимі. Тахометр MP5W45 налагоджений на роботу з енкодером E40S81003T24 (завданий масштаб відповідно до кількості імпульсів на один оберт валу енкодера).

При вмиканні ПЧ зміна

Для переходу в режим налагодження та відображення всіх параметрів необхідно виконати певний порядок дій (табл. 3.2).

Таблиця 3.2–Порядок дій для переходу в повне меню

| Дія |                            | Клавиши                                                                           | Результат | Примітка                                             |
|-----|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------|
| 1   | Перехід до меню <b>all</b> |  | 2         | Перехід до стовбцю функцій 2                         |
| 2   |                            |  | Menu      |                                                      |
| 3   |                            |  | all       | Вибір меню All                                       |
| 4   |                            |  | 1         | Підтвердження вибору та перехід до стовбцю функцій 1 |

#### Пункт 4. Хід роботи:

1. Увімкнути автоматичними вимикачами обидва ПЧ, що належать до стенду (тумблер дозволу на запуск повинен знаходитись у положенні OFF);

2. Зайти в меню керування приводного ПЧ. Для цього натиснути кнопку Enter (див. рис.1.3), перейти в режим налагодження параметрів (табл. 4.1) і ввести пароль захисту налагоджень C00 (за замовченням відсутній);

3. вибрати закон керування - векторне керування. Для цього потрібно встановити значення коду C0014 (регістр має значення), за допомогою керувальних кнопок Up/Down/Enter, у положення 4;

4. встановити на приводному ПЧ дослідне значення частоти (Гц): за допомогою потенціометру (доступно від 0 до 50) та натиснути кнопку Run (перевести тумблер у положення ON); на гальмівному ПЧ тумблер повинен знаходитися у положенні OFF. Отримати значення струму двигуна (код C0054) та діюче значення вихідної напруги (код C0052), навантаження двигуна (код C0056), а також реальне значення частоти обертання двигуна за універсальним тахометром MP5W45. На гальмівному ПЧ зняти показання напруги ланцюга постійного струму (код C0053) та значення струму двигуна (код C0054). Зняти

10 точок та звести данні досліду у табл.1 (зміну частоти на задане значення ПЧ відпрацьовує миттєво);

5. повторити пункт 4 змінивши закон керування на скалярне (код C14 = 2);

6. побудувати отримані характеристики (залежності від заданої частоти), зробити висновки по відмінності графіків швидкості при різних законах керування. Зробити висновки по графіку напруги ланцюга постійного струму гальмівного ПЧ.

Таблиця 3.3. Експериментальні дані статичної характеристики енкадера

| $f$ , Гц | $n$ , об/хв | $I$ , А | $U$ , В | $N$ , % | $I$ , А | $n'$ , об/хв | $U_{dc}$ , В | $I_{\Gamma}$ , А |
|----------|-------------|---------|---------|---------|---------|--------------|--------------|------------------|
|          |             |         |         |         |         |              |              |                  |

### 3.4.3 Лабораторна робота №2

**Тема:** Ознайомлення з принципом керування АД за допомогою ШІМ.

**Мета:** вивчення принципу роботи ШІМ, здобуття навичок застосування методик вимірювання ШІМ сигналу та способів інтерпретації цих сигналів.

#### Пункт 1. Основні теоретичні положення

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ, англ. Pulse-width modulation (PWM)) - наближення бажаного сигналу (багаторівневого або безперервного) до дійсних бінарних сигналів (з двома рівнями - вкл / викл) так, що, в середньому, за деякий відрізок часу, їх значення рівні. Формально, це можна записати так:

$$\int_{t1}^{t2} x(t) dt = \sum A * \Delta T_i$$

де  $x(t)$  - бажаний вхідний сигнал в межі від  $t1$  до  $t2$ , а  $\Delta T_i$  - тривалість  $i$ -го ШІМ імпульсу, з амплітудою  $A$ .  $\Delta T_i$  підбирається таким чином, щоб сумарні площі (енергії) обох величин були приблизно рівні за досить тривалий проміжок часу, а також були рівні середні значення величин за період:

$$\frac{\int_{t1}^{t2} x(t) dt}{t2 - t1} = \frac{\sum A * \Delta T_i}{t2 - t1}$$

ШІМ є імпульсним сигналом постійної частоти і змінної шпаруватості, тобто відношення тривалості імпульсу до періоду його проходження. За допомогою завдання шпаруватості (тривалості імпульсів) можна змінювати середнє значення напруги на виході ШІМ.

На рис.3.8 представлені типові графіки ШІМ сигналу. Так як при ШІМ частота імпульсів, а значить, і період ( $T$ ), залишаються незмінними, то при зменшенні ширини імпульсу ( $t$ ) збільшується пауза між імпульсами (рис. 3.8.б) і навпаки: при розширенні імпульсу пауза звужується (рис. 3.8.в).

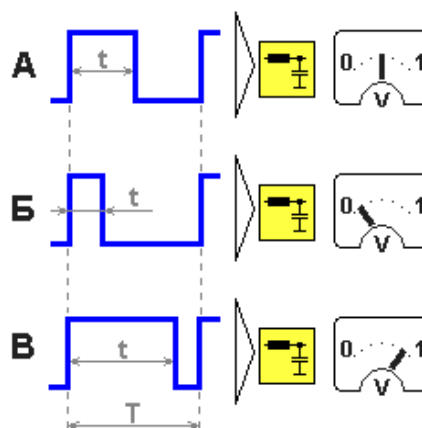


Рисунок 3.8—Залежність напруги від шпаруватості ШІМ

Якщо такий сигнал пропустити через фільтр нижніх частот, то рівень напруги на виході фільтра буде визначатися шпаруватістю імпульсів ШІМ. Призначення фільтра - не пропускати несучу частоту ШІМ. Сам фільтр може складатися з найпростішої інтегруючого RC ланцюга, або може бути відсутнім зовсім, наприклад, якщо навантаження має достатньо високу інерцію. Таким чином, використовуючи лише два логічних рівня, "одиницю" і "нуль", можна отримати будь-яке проміжне значення аналогового сигналу.

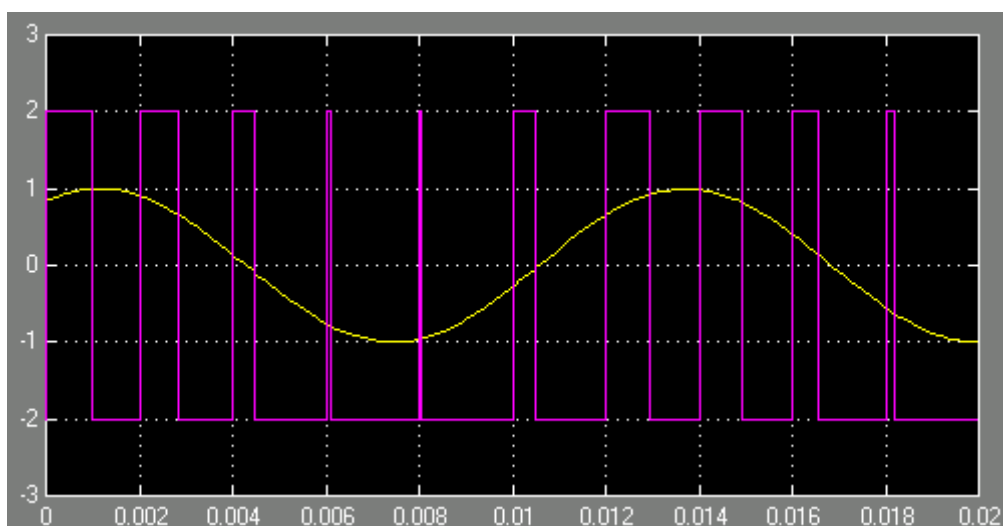


Рисунок 3.9– Ідеальна ШІМ модуляція синусоїдальної напруги

Керованими "рівнями", як правило, є параметри живлення силової установки, наприклад, напруга імпульсних перетворювачів, регуляторів постійної напруги. Основною причиною впровадження ШІМ є складність забезпечення довільною напругою. Існує базова постійна напруга живлення (в мережі, від акумуляторів та ін.), а на її основі потрібно отримати більш низьку довільну напругу і вже нею живити електродвигуни чи інше обладнання. Найпростіший варіант - дільник напруги, але він знижає ККД підвищеним виділенням тепла і витратою енергії. Інший варіант - транзисторна схема. Вона дозволяє регулювати напругу без використання механіки. Але проблема в тому, що транзистори гріються найбільше в напіввідкритому стані (50%). І якщо значенням ККД є ще прийнятним, то виділення тепла, особливо в промислових масштабах призводить до втрати практичної користі при застосуванні даного варіанта. Саме тому було вирішено використовувати транзисторну схему, але тільки в граничних станах (вкл / викл), а отриманий вихід згладжувати LC-ланцюгом (фільтром) при необхідності. Такий підхід є дуже енергоефективним, отже ШІМ набув широкого розповсюдження сьогодні.

## Пункт 2. Порядок виконання роботи

При дослідженні принципу роботи ШІМ пропонується використати схему математичної моделі створену за допомогою програмного забезпечення Matlab, що відтворює даний процес при роботі перетворювача частоти. На рис 3.10 показана схема математичної моделі.

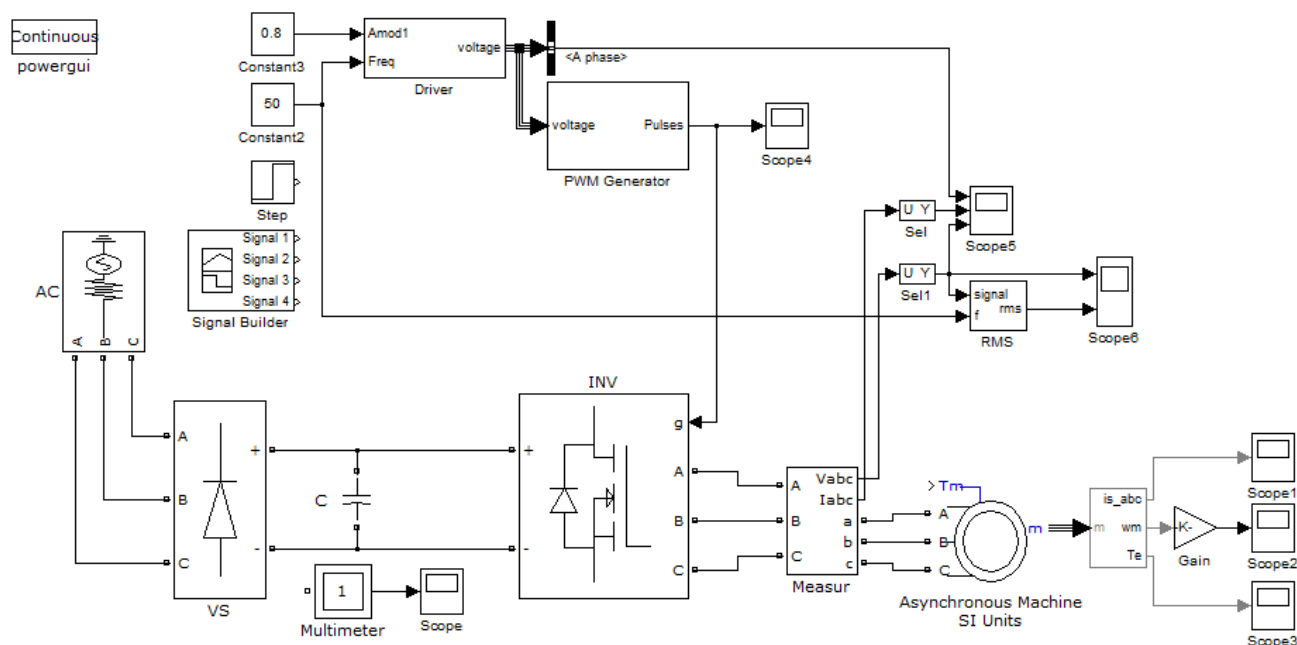


Рисунок 3.10– Схема математичної моделі

Для реалізації принципу широтно-імпульсної модуляції було використано стандартний підхід для створення схеми ШІМ. Вона складається з джерела живлення трифазною напругою (AC), некерованого випрямляча (VS), інвертора (INV), асинхронного двигуна та спрощеної схеми керування, що складається з блоку формування трифазної напруги змінної частоти (Driver) та генератора імпульсів, що відповідають заданій напрузі (PWM Generator). За допомогою додаткових блоків реалізовано відстеження необхідних параметрів схеми та безпосереднє завдання дослідних змінних. Вхідним параметром до системи є частота бажаної вихідної напруги, що задається на вхід Freq до Driver'а. Для цього в моделі використано набір стандартних блоків, зокрема блок побудови сигналу довільної форми (Signal Builder). Частоту модуляції можна змінювати в блоці PWM Generator, а коефіцієнт модуляції на вході Amod1 Driver'а (бажано

залишити стандартним). Для роботи обрано модель асинхронного двигуна з к. з. ротором потужністю 4 кВт, внутрішні параметри якого стандартно доступні з бібліотеки Simulink. Опис вимірювальних блоків:

- 1) Score – значення випрямленої напруги;
- 2) Score1 – фазні струми двигуна;
- 3) Score2 – оберти двигуна (в об/хв);
- 4) Score3 – електромагнітний момент;
- 5) Score4 – імпульси, що відповідають задавальній напрузі;
- 6) Score5 – задавальна напруга, струм двигуна та реальна напруга, що подається до двигуна у вигляді ШІМ;
- 7) Score6 – імпульсна напруга та її середнє значення.

### **Пункт 3. Хід роботи**

1. Для теоретичного дослідження роботи ШІМ необхідно використати створену математичну модель у програмній оболонці Matlab. Для звіту необхідно побудувати графіки перехідних процесів завдання напруги, струму двигуна та реальної напруги, що подається до двигуна у вигляді ШІМ (Score5). Завдання частоти проводити для значень вказаних викладачем. Для даної моделі підрахувати амплітуду, період та шпаруватість імпульсного сигналу.

2. Для практичного дослідження роботи ШІМ необхідно:

2.1. Увімкнути автоматичними вимикачами обидва ПЧ, що належать до стенду (тумблер дозволу на запуск повинен знаходитись у положенні OFF).

2.2. Зайти в меню керування приводного ПЧ. Для цього натиснути кнопку Enter (див. рис.1.3), перейти в режим налагодження параметрів (табл. 4.1) і ввести пароль захисту налагоджень C00 (за замовченням відсутній);

2.3. вибрати закон керування - векторне керування. Для цього потрібно встановити значення коду C0014 (регістр має значення), за допомогою керувальних кнопок Up/Down/Enter, у положення 4;

2.4. Підключити осцилограф до фаз статора асинхронного двигуна, а також виконати настройку розгортки вхідного сигналу;

2.5. встановити на приводному ПЧ дослідне значення частоти (Гц): за допомогою потенціометру (доступно від 0 до 50) та натиснути кнопку Run (перевести тумблер у положення ON); на гальмівному ПЧ тумблер повинен знаходитися у положенні OFF;

2.6. Отримати графіки перехідних процесів напруги та струму;

2.7. Підрахувати амплітуду, період та шпаруватість імпульсного сигналу.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Основою законодавства України з охорони праці є Конституція України, що гарантує громадянам право на безпечні та здорові умови праці та система законодавчих актів України, спрямованих на реалізацію цього конституційного права.

Основними законодавчими актами цієї системи є наступні Закони України:

- «Про охорону праці».
- «Про охорону здоров'я».
- «Про пожежну безпеку».
- «Про обов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності».
- «Про використання ядерної енергії та радіаційний захист».
- «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення».
- «Про цивільну оборону».
- Кодекс законів «Про працю України».

У наведеній вище системі законодавчих актів основна роль відводиться Закону «Про охорону праці» (редакція від 2002 р.). Цей закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства і працівником з питань безпеки праці, виробничої санітарії, встановлює єдиний порядок організації охорони праці у виробничій сфері в Україні.

Дія Закону України «Про охорону праці» поширюється на всі підприємства, установи, організації незалежно від форм власності та видів діяльності, які використовують найману працю, та на всіх працюючих.

Закон визначає основні принципи державної політики в галузі охорони праці, серед яких головне місце займають:

- пріоритет життя і здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність власника підприємства щодо створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- соціальний захист працівників;
- повне відшкодування шкоди особам, потерпілим на виробництві від нещасних випадків або професійних захворювань.

Окремо виділені статті Закону, присвячені регулюванню охорони праці жінок, неповнолітніх, інвалідів, видів відповідальності за порушення законодавства та нормативних актів про охорону праці, за створення перешкод для діяльності посадових осіб органів державного нагляду за охороною праці та представників профспілок.

#### **4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів**

Як відомо, умови роботи людини визначаються сукупністю різних факторів, невід'ємною частиною яких є санітарно-гігієнічні умови праці. Таким чином, особливості виробничого середовища можуть і негативно впливати на стан здоров'я і працездатності працюючих. Такі особливості виробничого середовища або робочого місця називаються професійною шкідливістю .

Комплекс шкідливих виробничих факторів класифікується за природою дії на організм людини на наступні групи:

- 1 - фізичні;
- 2 - хімічні;
- 3 - біологічні;

#### 4 - психофізичні.

Фізичні шкідливі виробничі фактори - підвищена запиленість, загазованість повітря робочої зони, його підвищена або знижена температура, тиск, відносна вологість, швидкість руху повітря, недостатня або надмірна освітленість робочої зони, підвищені рівні електромагнітних полів (ЕМП), іонізуючих випромінювань (ІВ), шуму, вібрації, інфразвукових, ультразвукових коливань, підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини, та ін.

Перераховані фактори цієї підгрупи можуть викликати різні захворювання:

- запиленість повітря - захворювання органів дихання (так звані пневмоконіози), астму, ураження шкірних і слизових оболонок;
- підвищена або знижена температура повітря - теплові удари, обмороження, порушення обміну речовин, зневоднення організму;
- підвищений або знижений тиск - кесонна хвороба, яка полягає в перенасичення тканин організму людини азотом при підвищеному тиску і проявляється в ломота в тілі, запаморочення, розлад координації рухів і т. п.;
- підвищена або знижена відносна вологість повітря – простудні захворювання;
- недостатня або надмірна освітленість - розвиток короткозорості, зниження гостроти зору;
- підвищений рівень шуму, вібрації - зниження слуху, неврози, розвиток вібраційної хвороби (порушення кровообігу, поява болю в кінцівках, зниження температурної, больової чутливості) і т. д.

Хімічні шкідливі виробничі фактори - загальнотоксичні, дратівливі, канцерогенні, сенсibiliзуючі та ін. (ацетон, бензин, масла і т. п.).

Ця група негативних виробничих факторів може приводити до загального отруєння організму людини, ураження слизових оболонок або шкірного покриву, викликати онкологічні захворювання, підвищення реакційної здатності клітин живих тканин тіла людини та ін.

Психофізичні шкідливі виробничі фактори підрозділяють, у свою чергу, на дві підгрупи: фізичні перевантаження і нервово-психічні перевантаження.

До фізичних перевантажень відносяться статичні, динамічні перевантаження, гіподинамія. До нервово-психічних – розумове перенапруження, монотонність праці, емоційні перевантаження.

На ділянці роботи з верстатом основними чинниками, які впливають на самопочуття і здоров'я людей, є наступні:

- небезпека ураження електричним струмом;
- травматизм;
- шкідливі впливу шуму та вібрацій;
- параметри мікроклімату;
- небезпека виникнення пожежі;
- недостатнє або надмірне освітлення;
- запиленість приміщення.

Через велику кількість електричних пристроїв на ділянці роботи оператора, умови праці можна віднести за ступенем ураження електричним струмом до категорії приміщень з підвищеною небезпекою.

**Електричний струм**, що протікає через тіло людини, призводить до виникнення в ньому таких основних процесів:

- безпосереднє роздратування і збудження живих тканин (м'язів, нервових волокон, серцево-судинної системи). Цей процес можливий у тому випадку, коли шлях протікання струму пролягає безпосередньо через живі тканини організму людини;
- рефлекторне (непряме) збудження тканин, що є наслідком дії електричного струму на ЦНС;
- посилення процесу збудження тканин, виникнення неадекватних і недоцільних команд центральної нервової системи в результаті накладення електричного струму на процеси поширення біострумів;

- перетворення електричної енергії в теплову при проходженні електричного струму через живі тканини, які характеризуються певним електричним опором.

В результаті цього, протікання електричного струму через організм людини являє собою складний процес, який супроводжується значним спектром фізико-біологічних і хімічних реакцій, основними з яких є термічна, електролітична, механічна та біологічна.

**Травма** - порушення анатомічної цілісності організму людини або його функцій внаслідок дії небезпечних виробничих факторів. На виробництві травми (нещасні випадки) головним чином стаються внаслідок непередбаченої дії на робітника небезпечного виробничого фактору при виконанні ним своїх трудових обов'язків.

Механічні та фізичні фактори переважно викликають травми. Теплові, хімічні, біологічні та психофізіологічні у більшості випадків зумовлюють захворювання. Однак, різкої межі за характером дії на організм людини між згаданими факторами немає.

**Шум** являє собою сукупність звукових хвиль. Звукові хвилі - це коливальні зміни тиску повітря - скупчення та розрідження. Фізичними характеристиками звукових хвиль є: інтенсивність, спектр та часові характеристики.

Шуми турбують, дратують людину і можуть спричинити шкоду здоров'ю. Захисна реакція людини на шум зумовлена виникненням надмірних процесів збудження або гальмування в центральній нервовій системі (ЦНС).

Велика кількість звукових сигналів, що поступають до кори головного мозку, викликають переживання, страх, передчасну втому. Дія шуму на людину виражається в широкому діапазоні - від суб'єктивного роздратування до об'єктивних змін в ЦНС, органах слуху, серцево-судинних та ендокринній системах, травному акті та інших органів і систем. Першим показником шкідливої дії шуму є скарги на роздратованість, переживання, порушення сну.

**Вібрація** - механічні коливання, що виникають у пружних тілах та

передаються на тіло людини.

Залежно від тривалості, інтенсивності дії, частоти, а також умов праці вібрація спричиняє стійкі патологічні зміни в нервовій системі (порушення процесів збудження та гальмування), опорно-руховому апараті (деформація суглобів, втрата сили м'язів) та кровоносній системі (звуження або розширення периферійних судин).

Особливо небезпечними для людини є коливання з частотою 4-8 Гц, що збігаються з власною частотою коливань ряду внутрішніх органів, які пружно закріплені на скелеті (серце, печінка, нирки та ін.), і близько 30 Гц (частота власних коливань тіла людини).

Найбільш шкідливим для людини є одночасний вплив вібрації, шуму та низької температури, а оскільки у виробничих умовах шум та вібрація є супутниками, то їхній спільний вплив може призвести до професійного захворювання - віброшумової хвороби. Ця хвороба тяжко піддається лікуванню і може стати причиною інвалідності. Особливо небезпечною ця хвороба є для жінок через ризик втрати репродуктивної функції.

**Параметри мікроклімату** - температура, вологість та рух повітря належать до числа найбільш значних, що встановлюють комфорт в приміщенні. Вплив на людину тих чи інших факторів створює різноманітні умови теплообміну організму з навколишнім середовищем та забезпечує певне функціональне теплове становище. Мікрокліматичні фактори впливають на репарацію ДНК, на активність генів теплового шоку.

Температура повітря дуже впливає на самопочуття людини і продуктивність праці. Висока температура повітря (30-35°C) у виробничих приміщеннях при збереженні інших параметрів викликає швидку стомлюваність працівника, перегрів організму та сильне потовиділення.

У важких випадках при підвищеній температурі навколишнього повітря настає тепловий, а при роботі на відкритому повітрі — сонячний удар. Можлива судомна хвороба, яка є наслідком порушення водно-сольового балансу і характеризується слабкістю, головним болем, різкими судомами,

переважно в кінцівках.

Інтенсивне потовиділення (до 6-10 л за зміну) при роботі в умовах впливу високої температури повітря (гарячі цехи) призводить до зневоднювання організму, втрати мінеральних солей і водорозчинних вітамінів (С, В1, В2). При важкій роботі в умовах високої температури може виділитися з потом до 50-60 г солі NaCl замість 10 г у нормальних умовах (усього в організмі людини міститься близько 140 г NaCl).

Можлива дія на організм і зниженої температури повітря. У неопалюваних робочих приміщеннях у прохолодну пору року. Тривалий і сильний вплив низьких температур може викликати різні несприятливі зміни в організмі людини. Місцеве і загальне охолодження організму є причиною багатьох захворювань: міозитів, невритів, радикулітів, а також застудних захворювань. Будь-який ступінь охолодження призводить до зниження частоти серцевих скорочень і розвитку процесів гальмування в корі головного мозку, що веде до зниження працездатності. При переохолодженні тіла до  $+24^{\circ}\text{C}$  настає смерть.

**Вологість** дуже впливає на організм людини, на його терморегуляцію. Надлишкова вологість (понад 80%) ускладнює випаровування вологи з поверхні шкіри. Це може призвести до погіршення загального стану і зниження працездатності людини. Підвищена вологість повітря (понад 75-85%) у сполученні з низькими температурами чинить значний охолоджуючий вплив, а в поєднанні з високими викликає перегрівання організму. Знижена відносна вологість (нижче 18-20%) також є несприятливою для людини, оскільки призводить до висихання слизових оболонок і зниження захисної функції верхніх дихальних шляхів.

**Швидкість повітря** на робочих місцях у виробничих приміщеннях має велике значення для створення сприятливих умов праці. Треба зазначити, що організм людини починає відчувати повітряні потоки при швидкості близько 0,15 м/с. Причому якщо ці повітряні потоки мають температуру до  $36^{\circ}\text{C}$ , вони освіжають людину, а при температурах вище  $40^{\circ}\text{C}$  - пригнічують. У зимовий

час швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,2...0,5 м/с, а влітку 0,2...1,0 м/с. У гарячих цехах допускається збільшення швидкості обдуву робітників (повітряне душення) до 3,5 м/с.

**Освітлення** впливає не лише на функцію зору, а й на діяльність організму в цілому: посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу. Відомий сприятливий вплив природного освітлення на скелетну мускулатуру.

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, погіршує гостроту зору, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення.

**Пил** різного походження, що утвориться внаслідок механічної дії на тверді тіла подрібненням, розмелюванням, розтиранням, при завантажувально-розвантажувальних, вибухових, зварних, земляних та інших роботах, згубно діє на органи дихання, очі і шкіру людини. Пил класифікується за ступенем дисперсності, за речовиною, шкідливістю для організму, вибухонебезпечністю.

За характером дії на організм людини пил поділяється на подразнюючий і токсичний. Проникаючи в легені і лімфатичні залози, він спричинює захворювання - пневмоконіоз, силікоз. Може проявлятися механічна дія пилу у вигляді шкірних гноячкових захворювань і подразнення слизових оболонок очей - кон'юнктивіт.

## **4.2 Розрахунок загального освітлення**

В даному розділі проведений розрахунок загального освітлення трюмів, довжина якого  $A = 10$  м, ширина  $B = 7$  м, висота  $H = 3$  м, висота робочої поверхні  $h_p = 0,8$  м. Будівля з темною робочою поверхнею, напруга мережі 220 В.

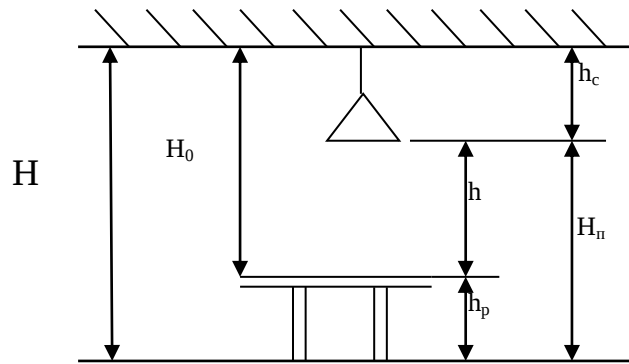


Рисунок 4.1 – Розміщення світильників

Вибираємо тип світильника з люмінесцентною лампою - ПВЛМ.

Знаходимо відстань від стелі до робочої поверхні:

$$H_0 = H - h_p = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Від стелі до світильника:

$$h_c = (0,2 \dots 0,25) \cdot H_0 = 0,2 \cdot 2,2 = 0,44 \text{ м}$$

Від світильника до освітлюваної поверхні:

$$h = H_0 - h_c = 2,2 - 0,44 = 1,76 \text{ м}$$

Висота підвісу світильника над підлогою:

$$H_{\Pi} = h + h_p = 1,76 + 0,8 = 2,56 \text{ м}$$

Відстань між центрами світильників:

$$L = 1,6 \cdot h = 2,8 \text{ м}$$

Необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{A \cdot B}{L^2} = \frac{10 \cdot 7}{(2,8)^2} = 8,93 \approx 9$$

Оптимальне число рядів:

$$\frac{B}{L} = \frac{7}{2,8} = 2,5 \approx 3$$

Приймаємо 3 ряди , тобто 2 відстані:

$$2 \cdot L = 2 \cdot 2,8 = 5,6 < B$$

Знаходимо кількість світильників в одному ряду:

$$\frac{A}{L} = \frac{10}{2,8} = 3,57 \approx 4$$

Приймаємо 4 світильника, тобто 3 відстані:

$$3 \cdot L = 3 \cdot 2,8 = 8,4 < A$$

Кількість світильників:  $3 \cdot 4 = 12$  шт.

Відстань від стіни до центру світильника:

$$l = (0,25 \dots 0,3) \cdot L = 0,3 \cdot 2,8 = 0,84$$

$$l = (0,4 \dots 0,5) \cdot L = 0,4 \cdot 2,8 = 1,12$$

Індекс приміщення:

$$i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B)) = (10 \cdot 7) / (1,76 \cdot (10 + 7)) = 2,34$$

Коефіцієнти відбиття:  $\rho_{ст} = 70\%$  ,  $\rho_c = 50\%$  ,  $\rho_p = 10\%$  .

Для світильника ПВЛМ коефіцієнт використання світлового потоку при  $i = 2,34$ ,  $\rho_{ст} = 70\%$  ,  $\rho_c = 50\%$  ,  $\rho_p = 10\%$  :

$$\eta = 62\% = 0,62$$

Світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_p = \frac{E_{min} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta \cdot n} = \frac{300 \cdot 70 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,62 \cdot 2} = 2330 \text{ лм}$$

По знайденому світловому потоку вибираємо лампу потужністю 40 Вт, що має світловий потік 2200 лм, близьке до розрахункового: ЛДЦ – 40.

Фактичне освітленість :

$$E_\phi = E_{min} \cdot \frac{\Phi_\phi}{\Phi_p} = 300 \cdot \frac{2200}{2330} = 283 \text{ лк}$$

Загальна потужність освітлювальної установки :

$$P_{общ} = P_\phi \cdot N \cdot n = 40 \cdot 12 \cdot 2 = 0,96 \text{ кВт}$$

### 4.3 Заходи безпеки та охорони праці

На ділянці роботи верстата відповідно до СніП П-5-79, ГОСТ 12.1.005-88, встановлені наступні оптимальні параметри мікроклімату:

- температура повітря 22-25 °С;
- відносна вологість 40-60 %;
- швидкість переміщення повітря - 0,3м / с.

Для забезпечення цих норм на ділянці передбачена природна вентиляція, яка здійснюється через відкриті створки світлових ліхтарів. У приміщенні також встановлено опалення, яке проектується з умови спільної дії з вентиляцією. Вентиляція повинна задовольняти вимогам ГОСТ 12.1.005-88.

Залежно від джерела світла, виробниче освітлення може бути двох видів: природне і штучне.

З метою виключення небезпеки ураження електричним струмом на ділянці необхідно передбачити наступні заходи:

- покриття струмоведучих частин і відділення їх один від одного шаром діелектрика, що забезпечує протікання струму по необхідному шляху і безпечну експлуатацію установки;
- застосування захисних заземлень;
- застосування захисних відключень;
- наявність захисних діелектричних килимків біля приладів керування установкою.

Крім того на ділянці, при роботі верстату створюється значний рівень шуму, допускаємі рівні шуму, тобто звукового тиску в ізольованих приміщеннях, вказані в ГОСТ 12.1.008-83.

Технічні засоби захисту від шкідливого впливу шуму припускають використання трьох головних напрямків:

- а) усунення причин виникнення шуму або зниження його рівня в джерелі;
- б) ослаблення шуму на шляху його поширення;
- в) індивідуальний захист працюючих.

Одним з найбільш простих рішень щодо зниження шуму на шляху його поширення є застосування звукоізолюючих кожухів – звуко-відбиваючих або звукопоглинальних.

Звуко-відбиваючі кожухи забезпечують зниження рівня звуку за рахунок високого коефіцієнта відбиття. Такі кожухи можуть знизити рівень звукового тиску на 20 ... 25 дБ.

Звукопоглинаючі кожухи забезпечують зменшення звуку за рахунок перетворення кінетичної енергії звукових хвиль у теплову при коливанні малих об'ємів повітря в порах звукопоглинального матеріалу. Такі кожухи можуть знизити рівень звукового тиску на 20 ... 30 дБ.

Рівень вібрації на ділянці верстата не перевищує норм встановлених за ГОСТ 121.012-78.

За організаційною ознакою заходи і засоби захисту від вібрації поділяють на заходи індивідуального та колективного захисту.

Заходи колективного захисту відношенні до джерела виникнення вібрації поділяються на:

- зниження параметрів вібрації впливом на джерело виникнення;
- зниження інтенсивності вібрації на шляху її поширення від джерела виникнення.

Вплив на джерело виникнення вібрації зводиться до зміни: конструктивних елементів джерела вібрації; характеру сил і моментів, обумовлених робочим процесом у машині, що викликають вібрацію. Використовують також методи зрівноважування окремих деталей, вузлів машин і механізмів; відбудови за частотою робочого режиму обладнання від діапазону резонансних явищ.

На шляху поширення вібрації знижують за рахунок таких технічних рішень:

- використання додаткових пристроїв, вбудованих в конструкцію машини;
- застосування покриття, що демпфує вібрацію;
- використання антифазних синхронізацій джерел вібрації.

Індивідуальні засоби захисту від впливу вібрації за місцем контакту оператора з вібруючим об'єктом поділяються на такі види:

- для рук оператора - рукавиці або рукавички з віброгасильними долонями; віброгасильні вкладиші;

- для ніг оператора - спеціальне взуття з віброгасильною підошвою, віброгасильні наколінники;
- для тіла оператора - віброгасильні нагрудники, пояси, спеціальні костюми.

Згідно ГОСТ 12.1.004-85 пожежна безпека - це стан об'єкта , при якому виключається можливість пожежі, а у разі її виникнення запобігається вплив на людей шкідливих і небезпечних факторів пожежі і забезпечується захист матеріальних цінностей.

Небезпечними факторами пожежі є:

- відкритий вогонь та іскри;
- підвищена температура повітря, предметів і т. п.;
- токсичні продукти горіння;
- дим;
- знижена концентрація кисню;
- обвалення і пошкодження будівель, споруд, установок;
- вибухи.

До основних протипожежних заходів відносяться:

- зонування території підприємства;
- дотримання протипожежних розривів;
- пристрій протипожежних перешкод;
- забезпечення шляхів евакуації.

## РОЗДІЛ 5

### ОБМЕЖЕННЯ СКИДАННЯ НАФТИ

#### 5.1 Правило 9

1. З урахуванням положень, передбачених правилами 10 і 11 [24] і пунктом 2 цього правила, забороняється будь-яке скидання в море нафти або містить нафту суміші з суден, на які поширюється [24], за винятком випадків, коли дотримуються одночасно всі наступні умови:

а) з нафтового танкера, за винятком випадків, передбачених в підпункті (b) цього пункту:

(I) танкер знаходиться поза межами особливого району;

(II) танкер знаходиться на відстані більше 50 морських миль від найближчого берега;

(III) танкер знаходиться в дорозі;

(IV) миттєва інтенсивність скидання нафти не перевищує 30 літрів на морську милю;

(V) загальна кількість скинутої з існуючих танкерів в море нафти не перевищує  $1/15000$  загальної кількості даного виду вантажу, частиною якого є залишок, а з нових танкерів -  $1/30000$  загальної кількості даного виду вантажу, частиною якого є залишок;

(VI) на танкері знаходяться в дії система автоматичного виміру, реєстрації і управління скиданням нафти і відстійний танк, необхідний правилом 15 цього [24];

b) з судна валовою місткістю 400 рег.т і більш, яка не є нафтовим танкером, а також з льял машинних приміщень нафтового танкера, за винятком льял

відділення вантажних насосів, якщо тільки стоки машинних льял не змішаний з залишками нафтового вантажу:

(I) судно знаходиться поза межами особливого району;

(II) судно знаходиться в дорозі;

(III) вміст нафти в стоці без його розведення не перевищує 15 частин на мільйон;

(IV) на судні знаходиться в дії устаткування, необхідне правилом 16 цього [24].

2. Стосовно судна валовою місткістю менше 400 рег.т., яка не є нафтовим танкером і плаваючого за межами особливого району, адміністрація забезпечує, щоб воно було обладнано, наскільки це доцільно і практично можливо, пристроями для зберігання нафтових залишків на борту і їх скидання на приймальні споруди або в море відповідно до вимог пункту 1 (b) [24].

3. У всіх випадках, коли в безпосередній близькості від судна або його кільватерной струменя на поверхні води або під нею виявлені видимі сліди нафти, уряду сторін Конвенції в межах своїх можливостей невідкладно розслідують відносяться до даного випадку факти для встановлення, чи мало місце порушення положень цього правила або правила 10 цього Додатка. Розслідування, зокрема, має включати відомості про вітер і стан моря, про шляхи і швидкості судна, про інших можливих джерелах появи поблизу судна видимих слідів нафти, а також про будь-яких записах, які стосуються скидання нафти.

4. Положення пункту 1 цього правила не застосовуються до скидання чистого і ізольованого баласту, а також до скидання необроблених нафтовмісних сумішей, нафтовмісту яких без розведення не перевищує 15 мільйонних часток, і які не скидаються з льял відділення вантажних насосів і не змішані з залишками нафтового вантажу .

5. Скидний в море стік не повинен містити хімічних або інших речовин, кількість або концентрація яких є небезпечними для морського середовища, а також хімічних або інших речовин, введених в стік з метою обійти умови скидання, встановлені в цьому правилі.

6. Нафтові залишки, які не можуть бути скинуті в море відповідно до пунктів 1, 2 і 4 цього правила, зберігаються на борту і скидаються на приймальні споруди.

7. У разі судна, згаданого в пункті 6 правила 16 [24], які не оснащеного устаткуванням, необхідним пунктами 1 або 2 правила 16 [24], положення підпункту (b) пункту 1 цього правила не застосовуються до 6 липня 1998 року або до дати, на яку судно оснащене таким устаткуванням, в залежності від того, яка з них є більш ранньою. До цієї дати будь-яке скидання з льял машинних приміщень в море нафти або нафтовмісних сумішей з такого судна забороняється, за винятком випадків, коли дотримані всі наступні умови:

a) містить нафту суміш не відбувається з льял відділення вантажних насосів; b) містить нафту суміш не змішана з залишками нафтового вантажу;

c) судно знаходиться за межами особливого району;

d) судно знаходиться на відстані більше 12 морських миль від берега;

e) судно знаходиться в дорозі;

f) вміст нафти в стоці становить менше 100 частин на мільйон;

g) на судні знаходиться в дії устаткування для сепарації нафтоводяної сумішей, конструкція якого схвалена Адміністрацією з урахуванням технічних вимог, рекомендованих Організацією.

## **7.2 Правило 10**

Методи запобігання забруднення нафтою з суден при плаванні в особливих районах.

1. Для цілей цього Додатка особливими районами є район Середземного моря, район Балтійського моря, район Чорного моря, район Червоного моря, "Район заток", Аденську затоку і район Антарктики, які визначені в такий спосіб:

a) район Середземного моря означає власне Середземне море з розташованими в ньому затоками і морями, обмежений з боку Чорного моря паралеллю  $41^{\circ}$  з північної широти, а на заході - меридіаном  $5^{\circ} 36'$  західної довготи, які перетинають Гібралтарську протоку;

b) район Балтійського моря означає власне Балтійське море з Ботнічним і Фінською затоками і з проходом в Балтійське море, обмежений паралеллю  $57^{\circ} 44,8'$  північної широти біля мису Скаген в протоці Скагеррак;

c) район Чорного моря означає власне Чорне море, обмежене з боку Середземного моря паралеллю  $41^{\circ}$  північної широти;

d) район Червоного моря означає власне Червоне море з Суецьким і Акабським затоками, обмежений з півдня прямою лінією, що проходить між Рас-сі-Ан ( $12^{\circ} 28,5'$  північної широти,  $43^{\circ} 19,6'$  східної довготи) і Хусн- Мурад ( $12^{\circ} 40,4'$  північної широти,  $43^{\circ} 30,2'$  східної довготи);

e) "Район заток" означає морський район, розташований на північний захід від прямої лінії, що проходить між Рас-Ель-Хадда ( $22^{\circ} 30'$  північної широти,  $59^{\circ} 48'$  східної довготи) і Рас-Ель-Фастів ( $25^{\circ} 04'$  північної широти,  $61^{\circ} 25'$  східної довготи);

f) Аденську затоку означає частину Аденської затоки між Червоним морем і Аравійським морем, обмежену із заходу прямою лінією, що проходить між Рас-сі-Ан ( $12^{\circ} 28,5'$  північної широти,  $43^{\circ} 19,6'$  східної довготи) і Хусн- Мурад ( $12^{\circ} 40,4'$  північної широти,  $43^{\circ} 30,2'$  східної довготи), і зі сходу прямою лінією, що проходить між Рас-Асир ( $11^{\circ} 50'$  північної широти,  $51^{\circ} 16,9'$  східної довготи) і рас-Фартак ( $15^{\circ} 35'$  північної широти,  $52^{\circ} 13,8'$  східної довготи);

g) "район Антарктики" означає морський район на південь від 60 ° південної широти.

2. З урахуванням положень правила 11 [24]:

a) в особливому районі забороняється будь-яке скидання в море нафти або містить нафту суміші з будь-якого нафтового танкера і судна валовою місткістю 400 рег.т і більш, яка не є нафтовим танкером. Відносно району Антарктики будь-яке скидання в море нафти або містить нафту суміші з будь-якого судна забороняється;

b) в особливому районі забороняється будь-яке скидання в море нафти або містить нафту суміші з судна валовою місткістю менше 400 рег.т, яка не є нафтовим танкером, крім випадків, коли зміст нафти в стоці без його розведення не перевищує 15 мільйонних часток.

3. a) Положення пункту 2 цього правила не застосовуються до скидання чистого і ізольованого баласту.

b) Положення підпункту 2 (a) цього правила не застосовуються до скидання оброблених лляльних вод з машинних приміщень за умови, що одночасно дотримуються всі наступні умови:

(I) джерелом лляльних вод не є льяла відділення вантажних насосів;

(II) лляльні води не змішані з залишками нафтового вантажу;

(III) судно знаходиться в русі;

(IV) вміст нафти в стоці без розведення не перевищує 15 мільйонних часток;

(V) на судні знаходиться в дії устаткування для фільтрації нафти, яке задовольняє пункту 5 правила 16 [24];

(VI) система фільтрації обладнана пристроєм, що забезпечує автоматичне припинення скидання, коли вміст нафти в стоці перевищує 15 мільйонних часток.

4. а) Скидний в море стік не повинен містити хімічних або інших речовин, кількість або концентрація яких є небезпечними для морського середовища, а також хімічних або інших речовин, введених з метою обійти умови скидання, встановлені в цьому правилі.

б) Нафтові залишки, які не можуть бути скинуті в море відповідно до пунктів 2 або 3 цього правила, зберігаються на борту або скидаються на приймальні споруди.

5. Ніщо в цьому правилі не забороняє судну, лише частина шляху якого проходить по особливому району, проводити за межами особливого району скидання відповідно до правила 9 [24].

6. У всіх випадках, коли в безпосередній близькості від судна або його кильватерной струменя на поверхні води або під нею виявлені видимі сліди нафти, уряду сторін Конвенції в межах своїх можливостей невідкладно розслідують відносяться до даного випадку факти для встановлення, чи мало місце порушення положень цього правила або правила 9 цього Додатка. Розслідування, зокрема, має включати відомості про вітер і стан моря, про шляхи і швидкості судна, про інших можливих джерелах появи поблизу судна видимих слідів нафти, а також про будь-яких записах, які стосуються скидання нафти.

7. Приймальні споруди в межах особливих районів: а) райони Середземного, Чорного і Балтійського морів:

(І) уряд кожної сторони Конвенції, берегова лінія якої прилягає до одного з цих районів, зобов'язується забезпечити, щоб не пізніше 1 січня 1977 року в усіх нафтоналивних терміналах і ремонтних портах, що знаходяться в межах особливого району, були передбачені споруди, достатні для прийому від нафтових танкерів і обробки всього брудного баласту і промивної води з танків. Крім того, у всіх портах в межах особливого району передбачаються прийомні споруди, достатні для прийому від всіх судів інших залишків і нафтовмісних

сумішей. Такі споруди повинні мати пропускну спроможність достатню для задоволення потреб користуються ними судів і не приводить до їх надмірного простою;

(II) уряд кожної сторони Конвенції, яка має юрисдикцією над входами в морські шляхи з невеликими глибинами, які можуть зажадати зменшення осадки судна шляхом зливу баласту, зобов'язуються передбачити споруди, згадані в підпункті (а) (I) даного пункту, із застереженням, що суду, яким необхідно здати нафтові залишки або брудний баласт, можуть зазнати деяку затримку;

(III) в період між вступом в силу цієї Конвенції (якщо це станеться раніше 1 січня 1977 року) та 1 січня 1977 року судна при плаванні в особливих районах виконують вимоги правила 9 цього Додатка. Однак уряди сторін Конвенції, берегова лінія яких прилягає до якого-небудь особливому району, згаданого в цьому підпункті, можуть встановити дату, що передує 1 січня 1977, але наступну за датою вступу в силу цієї Конвенції, починаючи з якої вимоги цього правила щодо згаданих районів вступають в дію, якщо:

- 1) до встановленої дати будуть передбачені всі необхідні приймальні споруди;
- 2) зацікавлені Сторони повідомлять Організацію про встановлену дату не менше ніж за шість місяців до її настання для сповіщення інших сторін;

(IV) починаючи з 1 січня 1977 року або попередньої 1 січня 1977 року дати, встановленої відповідно до підпункту (а) (iii) даного пункту, кожна сторона повідомляє Організацію для сповіщення зацікавлених Договірних урядів про всіх передбачуваних випадках невідповідності споруд встановленим вимогам;

б) район Червоного моря, "Район заток" та район Аденської затоки: (I) Уряд кожної сторони, берегова лінія якої прилягає до цих особливих районів, зобов'язується забезпечити, щоб у всіх нафтоналивних терміналах і портах ремонту суден, розташованих в цих особливих районах, якомога швидше були передбачені споруди, достатні для прийому від танкерів і обробки всього

брудного баласту і промивної води з танків. Крім того, у всіх портах в межах особливого району передбачаються прийомні споруди, достатні для прийому від всіх судів інших залишків і нафтовмісних сумішей. Такі споруди повинні мати пропускну здатність, достатню для задоволення потреб користуються ними судів і не приводить до їх надмірного простою; (II) уряд кожної сторони Конвенції, яка має юрисдикцією над входами в морські шляхи з невеликими глибинами, які можуть зажадати зменшення осадки судна шляхом зливу баласту, зобов'язується забезпечити спорудження, згадані в підпункті (b) (i) даного пункту, із застереженням, що суду, яким необхідно здати нафтові залишки або брудний баласт, можуть зазнати деяку затримку;

(III) кожна зацікавлена сторона повідомляє Організацію про заходи, вжиті на виконання положень підпунктів (b) (i) та (b) (II) цього пункту. Після отримання достатньої кількості повідомлень Організація встановлює дату, починаючи з якої вимоги цього правила вступають в дію по відношенню до даного особливого району. Організація повідомляє всі сторони про таку дату не менше ніж за дванадцять місяців до її настання;

(IV) в період між вступом в силу цієї Конвенції і такою датою суду, перебуваючи в особливих районах, виконують вимоги правила 9 [24];

(V) після такої дати нафтові танкери, які вантажаться в портах тих особливих районів, де ще поки відсутні такі приймальні споруди, також повністю виконують вимоги цього правила. Однак нафтові танкери, що заходять в такі особливі райони з метою завантаження, повинні зробити все можливе, щоб входити в район, маючи на борту тільки чистий баласт;

(VI) після дати, починаючи з якої вступають в дію вимоги щодо особливого району, кожна сторона повідомляє Організацію для сповіщення зацікавлених сторін про всі випадки передбачуваного невідповідності споруд встановленим вимогам;

(VII) щонайменше ті приймальні споруди, які передбачені правилом 12 цього Додатка, повинні бути забезпечені станом на 1 січня 1977 року або через рік після вступу в силу цієї Конвенції залежно від того, яка дата настане пізніше.

8. Незважаючи на пункт 7 цього правила, до району Антарктики застосовуються такі правила: а) уряд кожної сторони Конвенції, з портів якої судна відправляються додому в рейс в район Антарктики чи в порти якої суду прибувають з району Антарктики, зобов'язується забезпечити, як тільки це буде практично можливо, надання відповідних споруд для прийому всіх нафтовмісних опадів, брудного баласту, промивальної води з танків, а також інших нафтовмісних залишків і сумішей для задоволення потреб користуються ними судів і не приводячи до їх надмірного простою; б) уряд кожної сторони Конвенції забезпечує, щоб всі судна, які мають право плавання під її прапором, до входу в район Антарктики були обладнані танком або танками достатньої місткості для збереження всіх нафтовмісних опадів, брудного баласту, промивальної води з танків, а також інших нафтовмісних залишків і сумішей при плаванні в цьому районі і мали домовленості про здачу таких нафтовмісних залишків на приймальне спорудження після виходу з цього району.

### **7.3 Правило 11**

#### **Винятки**

Правила 9 та 10 [24] не застосовуються:

а) до скидання в море нафти або містить нафту суміші з метою забезпечення безпеки судна або порятунку людського життя на морі;

б) до скидання в море нафти або містить нафту суміші в результаті пошкодження судна або його обладнання:

(І) за умови, що після отримання пошкодження або виявлення скиду були прийняті всі розумні запобіжні заходи для запобігання або зведення до мінімуму такого скидання;

(II) за винятком випадків, коли судновласник або капітан діяли або з наміром заподіяти пошкодження судну, або безвідповідально і розуміючи, що це може привести до пошкодження;

с) до скидання в море речовин, що містять нафту і схвалених Адміністрацією, які використовуються для боротьби з особливими випадками забруднення моря з метою зведення до мінімуму шкоди від забруднення. Будь-подібний скидання підлягає схваленню всяким урядом, в чийй юрисдикції знаходиться район, в якому передбачається здійснити таке скидання.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі розроблено лабораторний комплекс систем векторного керування електроприводом змінного струму на основі сучасної елементної бази.

Вибрано та обґрунтовано доцільність вибору кожного із елементів, що входять до складу комплексу. Описано принцип роботи та подані детальні технічні характеристики всіх елементів. Створено структурну схему лабораторного комплексу, яка складається з двох основних частин: електромеханічної та інструментальної.

На основі конкретно вибраних елементів лабораторного стенда, розроблено його функціональну схему, на якій показано взаємозв'язок між усіма елементами комплексу, вказано канали передачі дискретних даних між елементами інструментальної частини стенда.

Лабораторний стенд налагоджений для проведення лабораторного практикуму та підвищення кваліфікаційного рівня студентів і спеціалістів.

Розроблено три лабораторні роботи та представлені у виді заготовки для методичних вказівок з курсів які досліджують суднові електроприводи.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов.- Л., Энергоиздат, 1982.-392с.
2. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями/ Учебное пособие. СПб: СПб ИТМО, 2006.
3. Lenze Преобразователи частоты серии 8200 vector: Руководство по эксплуатации.
4. <http://www.lenze.org/>
5. <http://www.lenze.org.ua/>
6. <http://www.weg.kiev.ua/>
7. Белов М.П., Зементов О.И., Козярук А.Е., Козлова Л.П., Новиков В.А., Савва С.В., Чернигов Л.М., Горохов С.Г., Татаринцев Н.И. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений/ М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др.; под ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова. – М.:Издательский центр «Академия», 2006. – 368с.
8. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводами: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ Терехов В.М., Осипов О.И.; под ред. В.М. Терехова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304с.
9. Боград В.М. и др. Электробезопасность: Методические указания по дипломному проектированию.
- 10.. Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю. Комплектні електроприводи: У 3 ч. Ч. 1: Аналогові комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2010. – 144 с.
- 11.Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю. Комплектні електроприводи: У 3 ч. Ч. 2: Цифрові комплектні електроприводи: Навчальний посібник. – Миколаїв: НУК, 2014. – 142 с.
12. Комплектні електроприводи. Ч. 3. Сервоелектроприводи [Електронний ресурс] : навч. посібник : електрон. вид. комбін. використання на DVD-ROM. У 3 ч. Ч. 3 Сервоелектроприводи / І. С. Білюк, Д. Ю. Шарейко, А. М. Фоменко, О. В.

Савченко; МОН України, НУК ім. адмірала Макарова. – Електрон. дані. – Миколаїв : НУК, 2018. – Назва з етикетки диска.

13. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Кривцов С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. – М.: «Эльф ИПР», 2006, 286 с.

14. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Н. Л. Рассудов; учебник для студ. высш. учеб. заведений. – 3-е изд., испр. – М. : Издательский центр "Академия", 2007. – 576 с.

15. Hairer, Ernst; Nørsett, Syvert Paul; Wanner, Gerhard (2008), Solving ordinary differential equations I: Nonstiff problems, Berlin, New York: Springer-Verlag.

16. Чернов Е.А. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ. Справочное пособие – Горький. Волго-Вятское из-во, 1989, 320с.

17. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов. Михайлов О.П. М.: Машиностроение, 1990 г, 302с.

18. Шарейко Д.Ю., Фоменко А.Н., Борисовский А.В. Лабораторный стенд на базе УЧПУ 2P22 и электропривода «Размер 2М-5-21»././ Проблемы автоматизации та електрообладнання транспортних засобів – Миколаїв: 2006. – С.225-240.

19. Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Борисовський О.В. Розробка лабораторного стенду для налагоджування верстата з ЧПК // Матер. Всеукраїнської Науково. техн. конф. з міжн. участю «Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів» - Миколаїв: 2007 - С. 241-251.

20. Шарейко Д.Ю., Фоменко А.М., Борисовський О.В. Застосування лабораторного стенду ЧПК 2P22 з зовнішньою керуючою ЕОМ для автоматизації підготовки керуючих програм // Вісник Кременчуцького ДПУ. – Кременчук. КДПУ: вип. 4/2007 (45) –С. 42-45.

21. Система керування двигуном подвійного живлення / Шарейко Д.Ю., Крістенко О.М., Кулаков І.С., Мухомеджанов А. А..// Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми автоматизації та електротехніки – 2021». –Миколаїв: НУК, 2021. – С. 12–15.

# ***Розробка лабораторного стенду дослідження електроприводів***

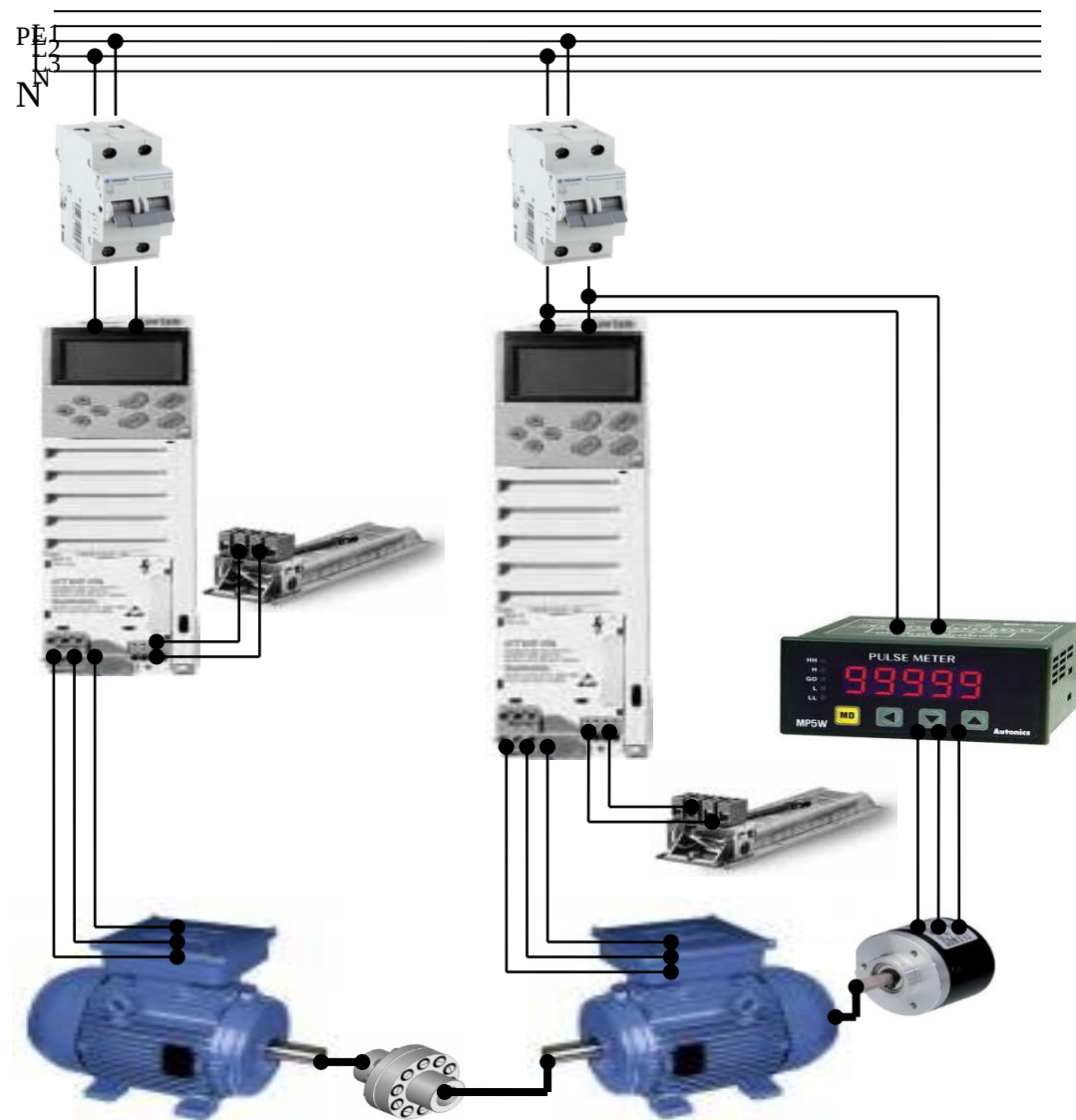
**Студент магістратури: Гребенкін Михайло Сергійович**

**Науковий керівник: к.е.н., доцент Майборода Олександр Валерійович**

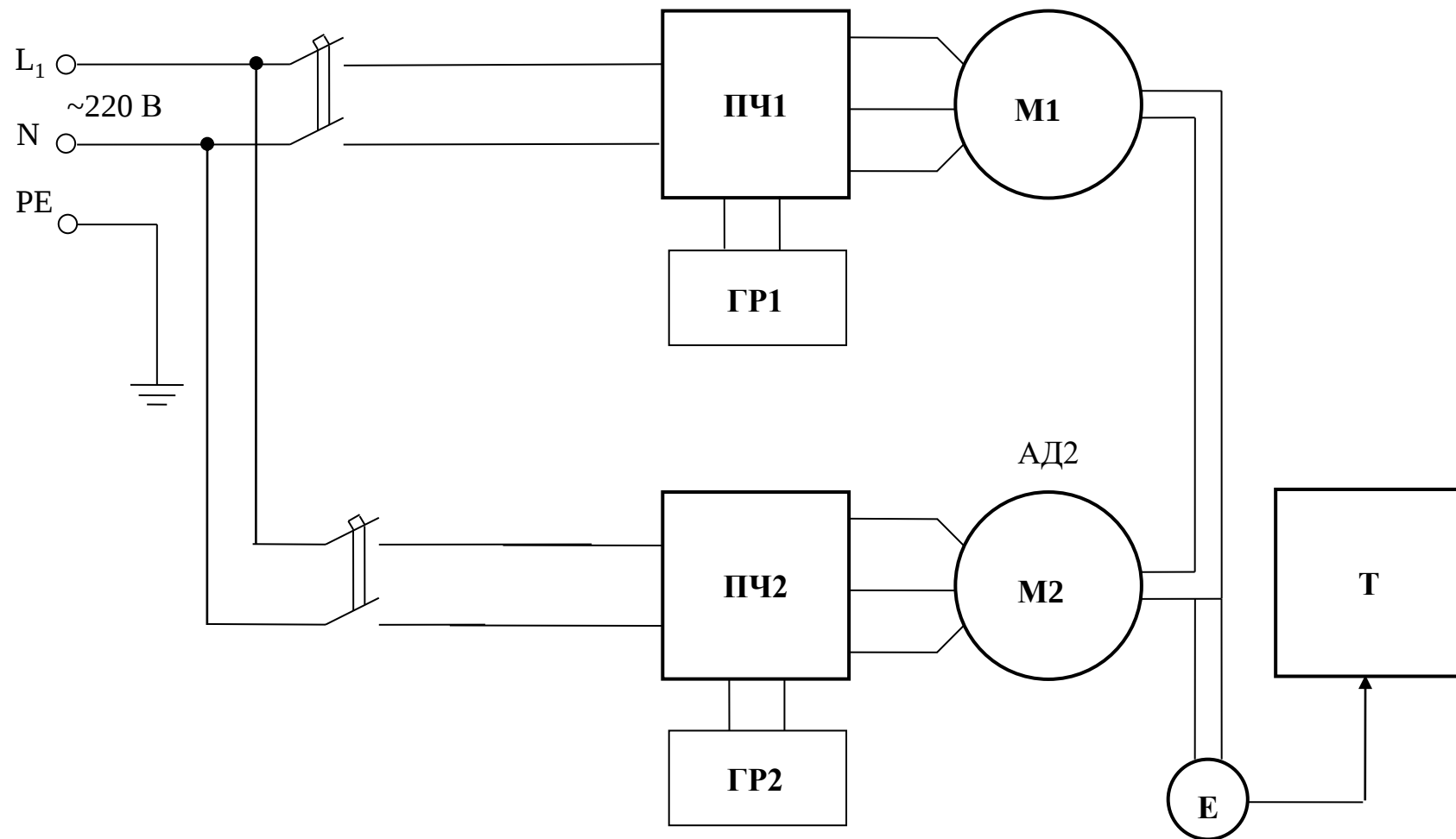
**Мета і завдання дослідження.** На основі сучасних комплектних електроприводів провести аналіз і синтез лабораторного стенду по дослідженню асинхронних електроприводів.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз систем керування електроприводів змінного струму з асинхронним електродвигуном.
2. Здійснити вибір елементів системи керування асинхронного електропривода.
3. Провести синтез лабораторного стенду по дослідженню асинхронних електроприводів.



Структурна схема лабораторного стенда



Функціональна схема лабораторного стенда

## Загальний вигляд комплектного електроприводу



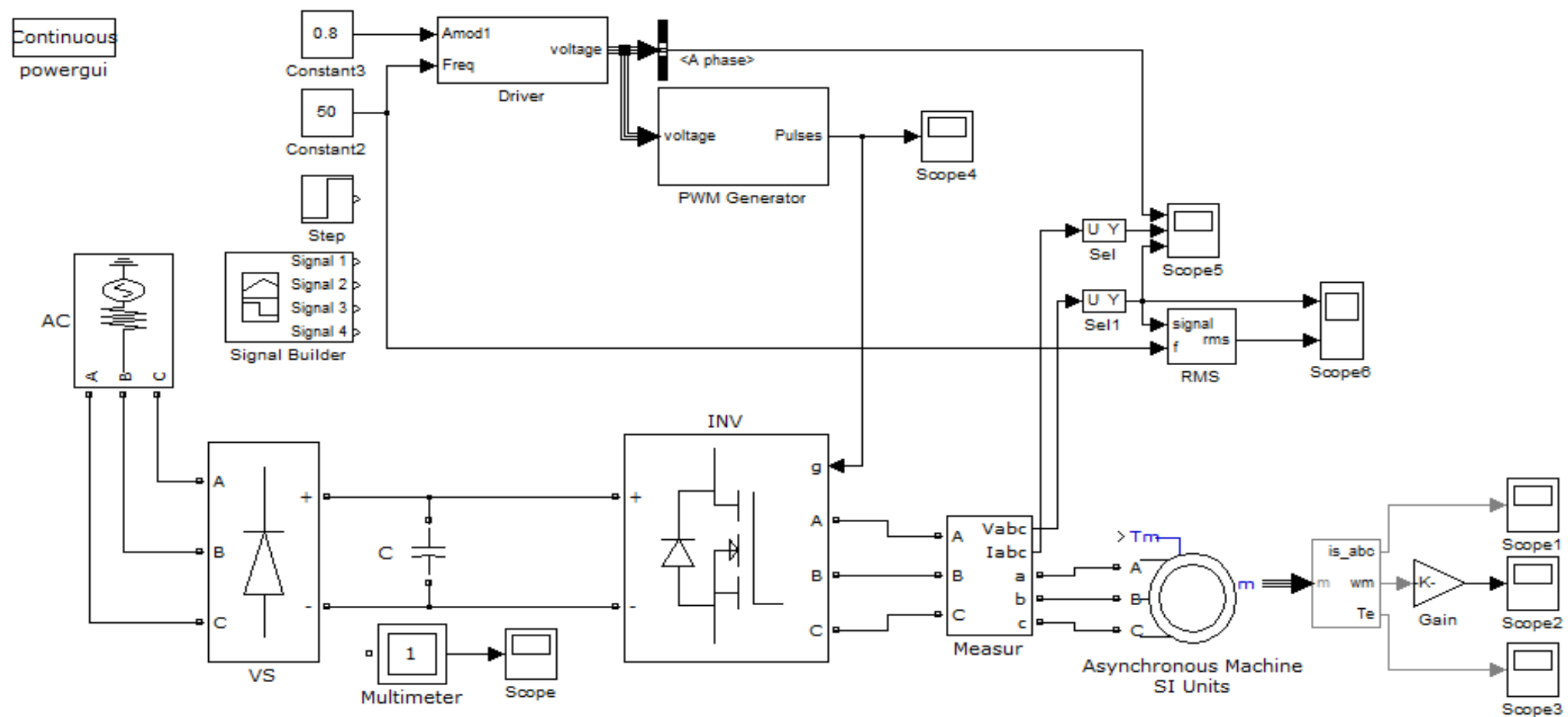
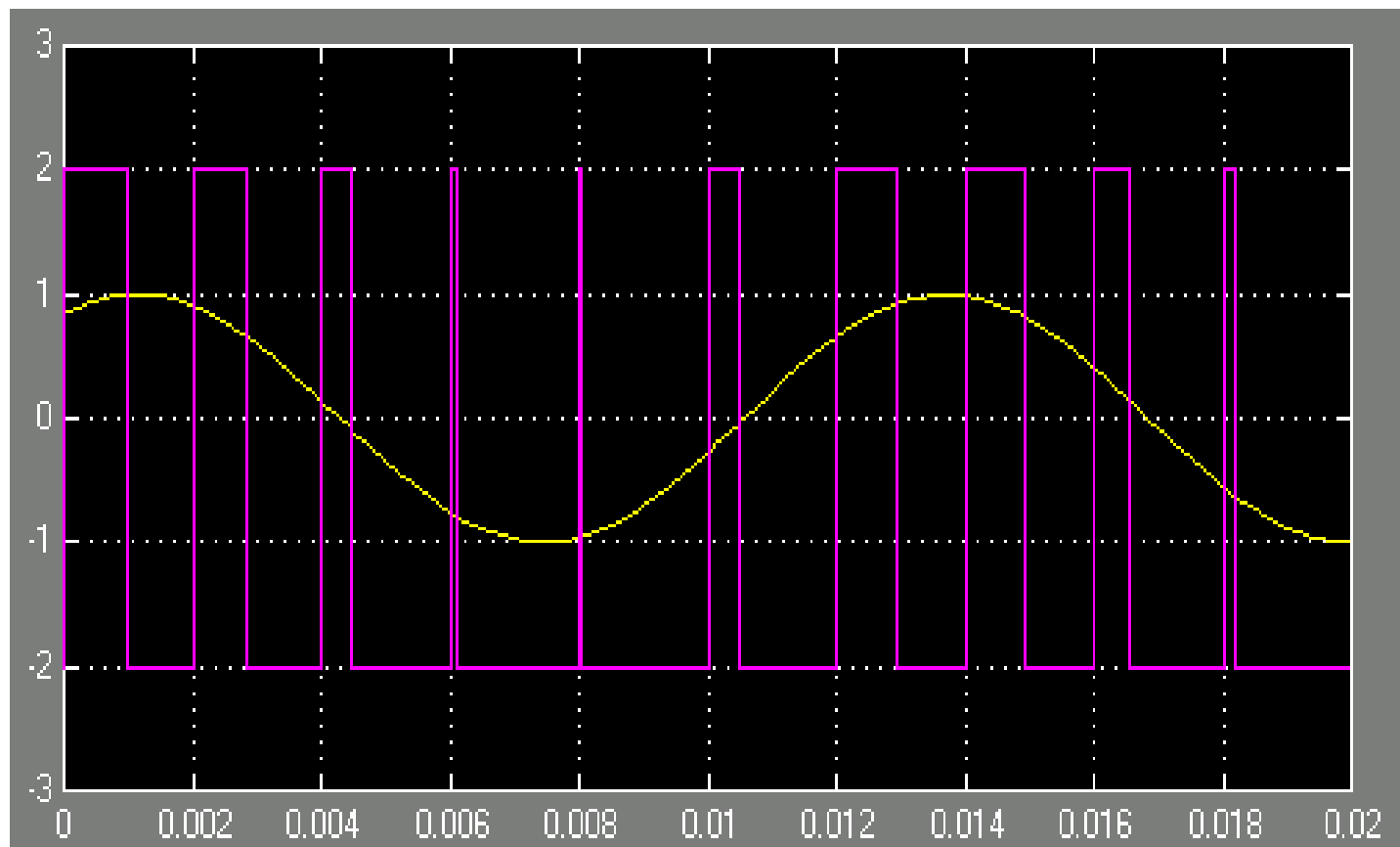


Схема математичної моделі



Ідеальна ШІМ модуляція синусоїдальної напруги

## ВИСНОВКИ

- Обґрунтовано доцільність вибору кожного із елементів, що входять до складу комплексу. Описано принцип роботи та подані детальні технічні характеристики всіх елементів. Створено структурну схему лабораторного комплексу, яка складається з двох основних частин: електромеханічної та інструментальної.
- На основі конкретно вибраних елементів лабораторного стенда, розроблено його функціональну схему, на якій показано взаємозв'язок між усіма елементами комплексу, вказано канали передачі дискретних даних між елементами інструментальної частини стенда.
- Лабораторний стенд налагоджений для проведення лабораторного практикуму та підвищення кваліфікаційного рівня студентів і спеціалістів.
- Розроблено три лабораторні роботи та представлені у виді заготовки для методичних вказівок з курсів які досліджують суднові електроприводи.