

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи
магістра
(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Розробка алгоритмів отримання інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань»

КНУ.МР.141.25.665-04

Виконав студент ІІ курсу, групи ЕПА-24м /Максим ДУБРАВСЬКИЙ/
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»
(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

к.т.н., доцент

_____/Ірина КАСАТКІНА/

Нормоконтролер:

к.т.н., доцент

_____/Ірина КАСАТКІНА/

Завідувач кафедри,

д.т.н., професор

_____/Олег СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____/Юрій ОСАДЧУК/

Кривий Ріг
2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: магістр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ДУБРАВСЬКИЙ Максим Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Розробка алгоритмів отримання інформації щодо стану
параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних
випробувань

1. Термін подання студентом роботи: 15 грудня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є розробка алгоритмів отримання інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань. Завданням є дослідження стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Визначення параметрів активного опору статору асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань; II. Визначення параметрів кривої намагнічування асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань; III. Практична реалізація алгоритмів отримання інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Методи визначення активного опору; II. Параметри кривої

намагнічування; III. Структура випробувального комплексу; IV. Режими роботи комплексу.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ірина КАСАТКІНА		
II	Ірина КАСАТКІНА		
III	Ірина КАСАТКІНА		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Визначення параметрів активного опору статору асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань	12.09.25
2	Визначення параметрів кривої намагнічування асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань	17.09.25
3	Практична реалізація алгоритмів отримання інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань	19.10.25
4	Структура комплексу отримання та визначення інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних	24.11.25
5	Режими роботи комплексу отримання та визначення інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань	07.12.25

Дата видання завдання 01.09.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Максим ДУБРАВСЬКИЙ
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ірина КАСАТКІНА
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Розробка алгоритмів отримання інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань», КНУ.РМ.141.25.665-04

Мета дослідження – розробка алгоритмів отримання інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань.

Об'єкт дослідження – інформація щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань.

Предмет дослідження – параметри асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань.

В роботі в загальному вигляді розглянуте питання діагностики асинхронних електродвигунів, особливу увагу приділено питанню визначення активного опору обмотки статора та розробці методики його вимірювання на основі сучасних засобів контролю параметрів електрообладнання, як найбільш важливе питання в забезпеченні надійної роботи електроприводів промислових підприємств.

Розроблено методику визначення активного опору статора асинхронного електродвигуна з урахуванням температурних поправок для оцінки технічного стану ізоляції обмоток та прогнозування відмов електрообладнання.

Однією з основних задач є правильне визначення активного опору обмотки статора з урахуванням температурних змін під час роботи електродвигуна.

Точне вимірювання цього параметра є вирішальним для оцінки технічного стану ізоляції обмоток, виявлення виткових замикань та прогнозування можливих відмов електрообладнання, що дозволяє своєчасно проводити профілактичні заходи та запобігати аваріям.

Процес визначення активного опору статора базується на глибокому аналізі методів вимірювання електричних параметрів, включаючи метод вольтметра-амперметра та мостові схеми вимірювання, що є основою для подальшої точної діагностики стану обмоток.

Крім того, у роботі проведено аналіз впливу температури на зміну активного опору міді обмоток та визначено температурні коефіцієнти для коригування результатів вимірювань, що безпосередньо впливає на точність і достовірність діагностики електродвигунів.

В роботі в загальному вигляді розглянуто питання діагностики та контролю технічного стану асинхронних електродвигунів, зокрема, детально досліджено методику визначення активного опору обмотки статора, яка базується на сучасних методах вимірювання електричних параметрів та аналізу термічних режимів роботи електричних машин.

Це питання є одним з найважливіших аспектів експлуатації електроприводів промислових підприємств, оскільки забезпечення надійної роботи асинхронних двигунів є критично важливим для безперервності технологічних процесів та захисту не лише обладнання, але й запобігання аваріям у виробничих умовах.

Запропоновані в роботі рекомендації можуть бути використані для вдосконалення наявних систем діагностики електричних машин на промислових підприємствах, що значно підвищить надійність роботи електроприводів та зменшить ризики позапланових простоїв обладнання.

Таким чином, отримані результати мають велике значення як для теоретичних, так і для практичних аспектів технічної експлуатації асинхронних електродвигунів, що зможе покращити не лише умови експлуатації, але й ефективність використання електромеханічних систем промислових підприємств.

АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ПІСЛЯРЕМОНТНІ
ВИПРОБУВАННЯ, АЛГОРИТМ ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ, СТАН
ПАРАМЕТРІВ

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Визначення параметрів активного опору статора асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань	9
Розділ 2. Визначення параметрів кривої намагнічування асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань	16
Розділ 3. Практична реалізація алгоритмів отримання інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань	18
3.1. Структура комплексу отримання та визначення інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань	18
3.2. Режими роботи комплексу отримання та визначення інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань	29
Висновки	34
Список використаних джерел.....	36
Додатки.....	38

Вступ

Асинхронні електродвигуни є найбільш поширеними типами електричних машин у промисловості, які становлять понад 70% від загального парку електроприводів промислових підприємств.

Їх надійна та безперебійна робота є критично важливою для забезпечення безперервності технологічних процесів, продуктивності виробництва та безпеки експлуатації обладнання.

Однією з найважливіших проблем сучасної електротехніки є забезпечення контролю технічного стану асинхронних електродвигунів та своєчасне виявлення несправностей, що дозволяє запобігти аваріям, позаплановим простоям обладнання та значним економічним втратам.

Традиційні методи діагностики, що базуються на періодичних оглядах та планово-попереджувальних ремонтах, не завжди ефективні, оскільки не дозволяють вчасно виявити дефекти, що розвиваються.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення та впровадження високопродуктивних комплексів оцінки якості асинхронних електродвигунів, які дозволяють здійснювати швидку та точну діагностику параметрів електричних машин.

Особливої важливості набуває питання визначення активного опору обмотки статора з урахуванням температурних змін, оскільки цей параметр є одним із ключових показників технічного стану ізоляції та обмоток двигуна.

Розділ 1. Визначення параметрів активного опору статора асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань

Для визначення електромагнітних параметрів асинхронного електродвигуна при проведенні експрес-випробувань за даними реєстрації значень струмів і напруг фаз статора необхідно визначити щонайменше величини потокозчеплень статора.

Алгоритмічною основою обчислення цих величин є рівняння Кірхгофа статорного кола, записані в нерухомій системі координат α, β :

$$\Psi_{s\alpha} = U_{s\alpha} - R_s I_{s\alpha} ,$$

$$\Psi_{s\beta} = U_{s\beta} - R_s I_{s\beta}$$

З цих зв'язків видно, що достовірні значення потокозчеплень статора ($\Psi_{s\alpha}$, $\Psi_{s\beta}$) можливо отримати, використовуючи достовірний метод інтегрування зв'язків і достовірні значення величин, що входять до правих частин.

Використання при інтегруванні значень активного опору статора R_s з похибкою викличе проникнення постійної складової в результат.

У цьому зв'язку розглянемо можливі методи визначення (уточнення) значень активного опору статора асинхронного електродвигуна.

Розглянемо вплив завдання похибки активного опору статора асинхронного електродвигуна (АД) на результати обчислення значень його електромагнітних параметрів.

В ідеальному варіанті при відсутності похибок при вимірюванні і задані параметрів АД в усталеному режимі визначені зв'язки для статорного кола в координатній системі (u,v) :

$$0 = U_{su} - R_s I_{su} + \omega_s \Psi_{sv},$$

$$0 = U_{sv} - R_s I_{sv} - \omega_s \Psi_{su}$$

У виразах U_{su} , U_{sv} , I_{su} , I_{sv} , R_s - вимірювані (напруга і струм статора) і заданий (R_s - активний опір статора) Ψ_{su} , Ψ_{sv} - (потокосцеплення статора по осям u,v) - обчислювані параметри.

Якщо активний опір статора R_s задається з похибкою, то зв'язки для визначення потокосцеплення статора Ψ_s стають не алгебраїчними, а диференціальними.

Значення Ψ_s при цьому будуть обчислюватися з похибкою.

Встановимо залежність величини похибки обчислення потокосцеплення статора від величини похибки задання активного опору статора АД.

$$\text{Нехай } R_s = R_{s0} + \Delta R_s,$$

тоді $\Psi_{su} = \Psi_{su0} + \Delta\Psi_{su}$, $\Psi_{sv} = \Psi_{sv0} + \Delta\Psi_{sv}$ (індекс "0" в позначеннях визначає істинне значення параметра).

Перепишемо зв'язки у вигляді

$$\frac{d}{dt}(\Psi_{su0} + \Psi_{su}^{\Delta}) = U_{su} - (R_{s0} + \Delta R_s)I_{su} + \omega_H(\Psi_{sv0} + \Psi_{sv}^{\Delta}),$$

$$\frac{d}{dt}(\Psi_{sv0} + \Psi_{sv}^{\Delta}) = U_{sv} - (R_{s0} + \Delta R_s)I_{sv} - \omega_H(\Psi_{su0} + \Psi_{su}^{\Delta}).$$

Приймаючи до уваги, що в змінних величинами є тільки похибки обчислення $\Delta\Psi_{su}$, $\Delta\Psi_{sv}$, отримаємо зі зв'язків з урахуванням

$$\frac{d}{dt}(\Delta\Psi_{su}) = \omega_H\Delta\Psi_{sv} - \Delta R_s I_{su},$$

$$\frac{d}{dt}(\Delta\Psi_{sv}) = -\omega_H\Delta\Psi_{su} - \Delta R_s I_{sv}.$$

З виразів можна отримати

$$\frac{d^2}{dt^2}(\Delta\Psi_{su}) = \omega_H^2 \Delta\Psi_{su} - \omega_H \Delta R_s I_{su}$$

зв'язок між величиною завдання похибки активного опору статора АД і величиною обчислюваної похибки складової потокозчеплення статора по осі u .

Розв'язок можна переписати у вигляді

$$\Delta\Psi_{su} = A \cdot \sin(\omega_H t + \varphi) - \frac{\Delta R_s I_{su}}{\omega_H}$$

де A , φ - постійні.

Впливає, що похибка обчислення складової потокозчеплення статора по осі u містить постійну і змінну складові $\Delta\Psi_{su}(\text{var})$, $\Delta\Psi_{su}(\text{const})$.

При цьому максимальне і мінімальне значення похибки будуть

$$\Delta\Psi_{su}(\text{max}) = \Psi_{su}(\text{max}) - \Psi_{su0},$$

$$\Delta\Psi_{su}(\text{min}) = \Psi_{su}(\text{min}) - \Psi_{su0},$$

Для моментів часу t , коли

$$\omega_s t + \varphi = (2 \cdot k - 1) \cdot \pi / 2, \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

З виразів випливає

$$\Delta \Psi_{su}(max) = A - \frac{\Delta R_s I_{su}}{\omega_H},$$

$$\Psi_{su}(min) = -A - \frac{\Delta R_s I_{su}}{\omega_H}.$$

Звідки отримуємо

$$\Delta \Psi_{su}(max) + \Delta \Psi_{su}(min) = \frac{2A \cdot \Delta R_s I_{su}}{\omega_H}$$

Враховуючи, що

$$\Delta \Psi_{su}(max) = \Psi_{su}(max) - \Psi_{su0},$$

$$\Delta \Psi_{su}(min) = \Psi_{su}(min) - \Psi_{su0},$$

Отримуємо

$$\Delta R_s = \omega_H \cdot \frac{\Delta \Psi_{su}(max) + \Delta \Psi_{su}(min)}{2 \cdot I_{su}}.$$

$$\Delta \Psi_{su}(min) = \Psi_{su}(max) + \Psi_{su}(min) - 2 \cdot \Psi_{su0}.$$

Враховуючи, що

$$\Delta \Psi_{su}(max) + \Delta \Psi_{su}(min) = 2 \cdot (-\Delta R_s \cdot I_{su} / \omega_s),$$

отримуємо для похибки активного опору ротора

$$\Delta R_s = \omega_H \cdot \frac{\Delta \Psi_{su}(max) + \Delta \Psi_{su}(min)}{2 \cdot I_{su}}$$

Після перетворень з отримуємо

$$Rs0 - \Delta Rs = Is \cdot Usv / (Is^2 \cdot \omega s)$$

Оскільки при визначенні R_{s0} у зв'язку $R_{s0} + \Delta R_s = R_{\text{зад}}$ значення R_z відоме, то з урахуванням цього запишемо

$$R_{s0} = R_{\text{зад}} + I_s \cdot U_{sv} / (I_s^2 \cdot \omega s)$$

Вираз визначає прямий метод обчислення величини активного опору статора АД з використанням даних про значення реальних струмів і напруг, отриманих з режиму пуску АД прямим включенням у мережу.

Розділ 2. Визначення параметрів кривої намагнічування асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань

Під час проведення автоматизованих випробувань асинхронного електродвигуна виникає проблема визначення значень коефіцієнтів ((A, B)), які визначають форму кривої намагнічування та входять до залежності [3]:

$$[\Phi_m = A \cdot \arctan(B \cdot I_m),]$$

де (Φ_m, I_m) — потік і струм намагнічування.

Індуктивність контуру намагнічування визначається виразом:

$$\left[L_m = \frac{\Phi_m}{I_m} = \frac{A \cdot \arctan(B \cdot B_m)}{I_m} \right]$$

При визначенні (L_m) як функції відомих вхідних (отриманих експериментально) (U_s, I_s) та обчислених (Ψ_s, I_r) неможливо, використовуючи, отримати аналітичну залежність (L_m) від вхідних та обчислених змінних.

Цю залежність замінюємо виразом, що описує динамічну індуктивність:

$$\left[L_q = \frac{d\Phi_m}{dI_m} \cdot \right]$$

З огляду на те, що в області малих струмів намагнічування значення (L_m) і (L_q) близькі одне до одного, з певними припущеннями можна записати:

$$\left[L_m = \frac{d}{dI_m} [A \cdot \arctan(B \cdot I_m)] \cdot \right]$$

Після перетворення отримуємо:

$$\left[L_m = \frac{A \cdot B}{1 + B^2 \cdot I_m^2} \cdot \right]$$

Розділ 3. Практична реалізація алгоритмів отримання інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань

3.1. Структура комплексу отримання та визначення інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань

Силовий виконавчий пристрій призначений для формування необхідних режимів роботи АД під час випробувань.

Система вимірювання призначена для отримання вимірюваних вихідних даних та введення їх у пам'ять ЕОМ.

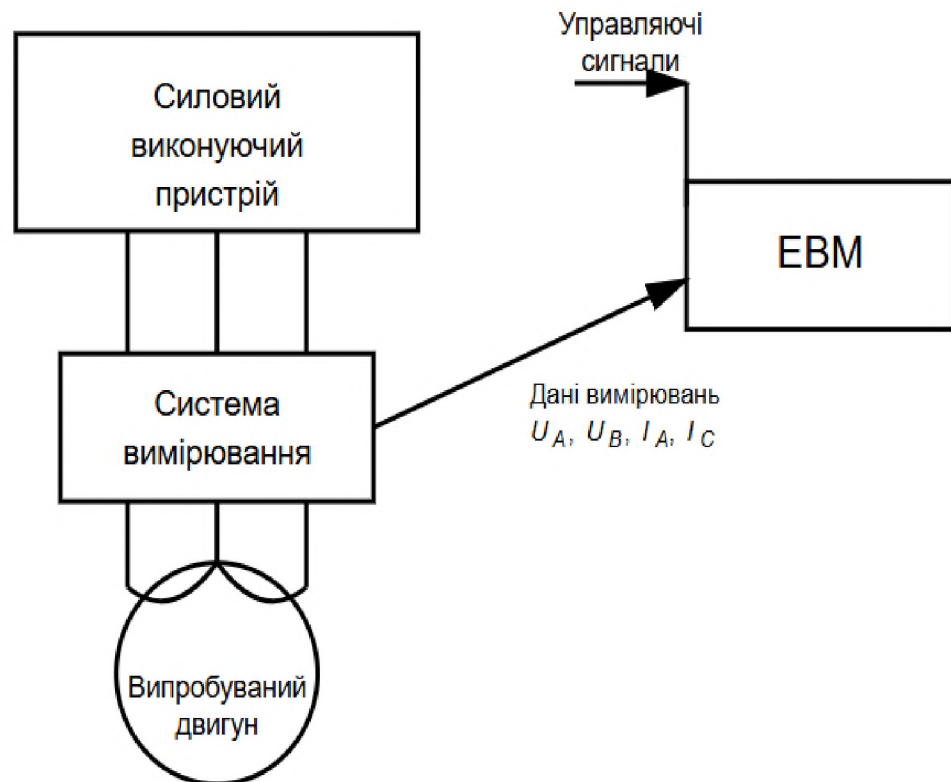


Рис.3.1. Функціональна схема комплексу

ЕОМ призначена для:

- керування силовим виконавчим пристроєм з метою формування необхідних режимів роботи АД під час випробувань;
- керування процесом введення вихідної інформації в пам'ять ЕОМ;

- обробки вихідних даних для визначення параметрів і показників якості АД.

До складу ЕОМ входить аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який містить вихідний регістр для керування зовнішніми пристроями.

Як ЕОМ на випробувальному стенді використано IBM-сумісний персональний комп'ютер.

Розглянемо пристрій і роботу силового виконавчого пристрою та системи вимірювання, структурна схема яких показана на рис. 3.2.

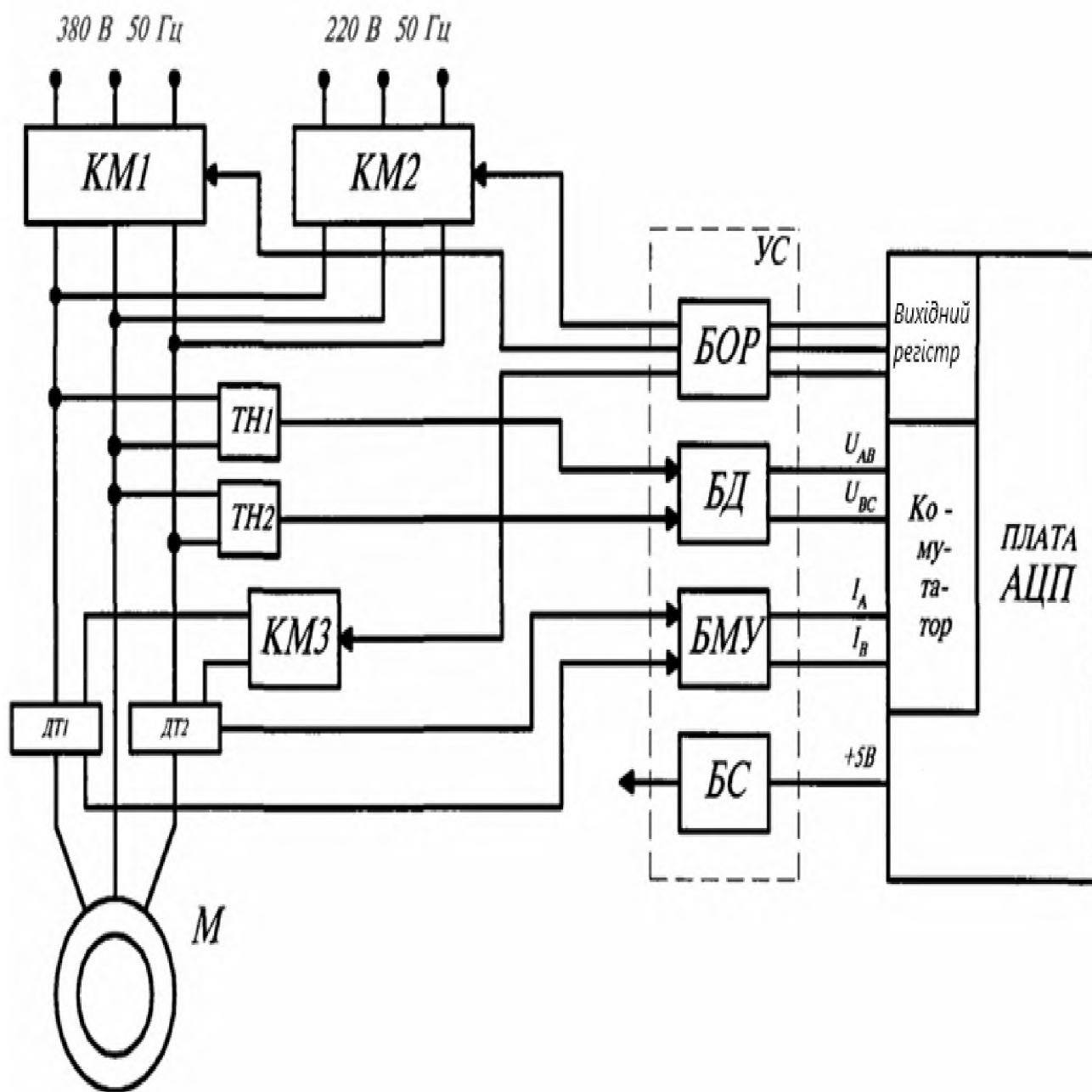


Рис. 3.2. Структурна схема силового виконавчого пристрою та системи вимірювання:

(М) — випробуваний електродвигун;

(КМ1, КМ2, КМ3) — силові контактори;

ДС1, ДС2 — датчики струму УТТ-5;

ТН1, ТН2 — вимірювальні трансформатори напруги УТН1;

ПС — пристрій сполучення;

БОР — блок оптронних розв'язок;

БД — блок дільників;

БМП — блок масштабуючих підсилювачів;

БС — блок зміщення;

АЦП — аналого-цифровий перетворювач.

Для реєстрації вихідних даних $((U_{AB}, U_{BC}, I_A, I_C))$ перехідного процесу в режимі пуску АД і режимі холостого ходу при номінальній напрузі використовується силовий контактор КМ1, який призначений для підключення випробуваного АД до джерела змінного струму з напругою 380 В.

Для проведення досліду холостого ходу при зниженій напрузі використовується силовий; силовий контактор КМ2, який підключає АД до джерела змінного струму з напругою 220 В.

Оскільки в режимах холостого ходу струм статора значно менший за струм у перехідному режимі пуску АД, виникає потреба перемикання меж вимірювання датчиків струму ДТ1, ДТ2.

Цю функцію виконує силовий контактор КМ3.

Керування силовими контакторами КМ1, КМ2 і КМ3 здійснюється сигналами, що надходять із вихідного регістра аналого-цифрового перетворювача (АЦП).

Для сполучення вимірювальних датчиків струму та напруги з платою АЦП, підсилення та гальванічної розв'язки керуючих сигналів використовується пристрій сполучення (УС).

Пристрій складається з блоку живлення (БП), блоку оптронної розв'язки (БОР), блоку масштабуючих підсилювачів (БМУ) та блоку дільників напруги (БД).

Аналого-цифровий перетворювач призначений для перетворення вимірюваного аналогового сигналу в цифрову форму.

Крім того, АЦП містить вихідний регістр, призначений для керування зовнішніми пристроями. АЦП являє собою друковану плату, яка вставляється в стандартний роз'єм введення-виведення IBM PC/AT.

На сьогодні з'явилися АЦП із вищими технічними характеристиками за тими ж ціновими показниками, що відповідно полегшує завдання підбору АЦП.

Таблиця 3.1. Порівняльна таблиця вибору АЦП

№ п/п	Показник	Одиниці вимірювання	Значення
1	Вхідна напруга каналу АЦП	В	0–10
2	Кількість розрядів дискретизації АЦП	шт.	10
3	Час перетворення	мкс	25
4	Кількість каналів	шт.	4
5	Кількість розрядів вихідного регістра	шт.	8
6	Похибка перетворення	ЕМР	± 1
7	Максимальний струм виходу	мА	16

Особливу увагу при виборі АЦП слід звертати на такий показник, як час перетворення.

Великий час перетворення, а відповідно й інтервал між двома послідовно вимірюваними величинами, призведе до значних обчислювальних похибок.

Розглянемо пристрій і роботу силової схеми випробувального стенда.

Силова схема являє собою електрошафу, в якій розміщені силові контактори для підключення випробуваного АД, реле, що керують цими контакторами, та вимірювальні трансформатори струму й напруги.

Живлення силової схеми здійснюється від мережі змінного струму 380 В, 50 Гц через роз'єднувач QF1.

Контактор КМ1 вмикається керуючим реле (К1) для початкового запуску АД і зняття пускової характеристики.

Пусковий струм проходить через первинні обмотки трансформаторів струму ТА1 і ТА2 марки УТТ-5, які перетворюють струм до 600 А.

Великий діапазон вимірювання струму обрано для зменшення впливу насичення трансформатора струму на пускові струми.

Напруга (U_{AB}) і (U_{BC}) вимірюється вимірювальними трансформаторами напруги TV1 і TV2 марки УТН1.

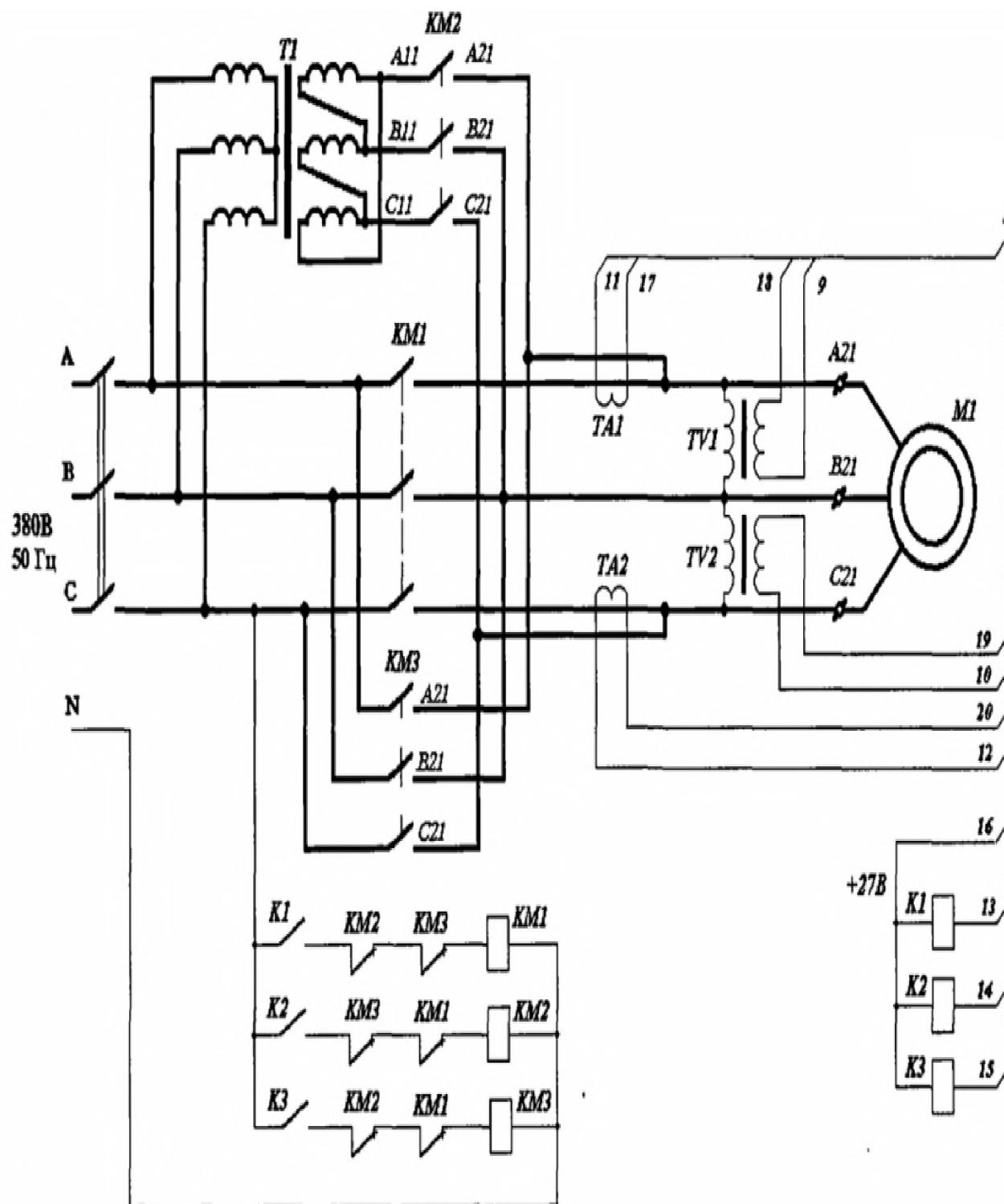
Контактор КМ3 підключає первинні обмотки трансформаторів струму з межею вимірювання 50 А для точнішої реєстрації вихідних даних холостого ходу АД.

Трансформатор (Т1) і контактор КМ2 використовуються для реєстрації вихідних даних холостого ходу при зниженій напрузі.

Для захисту від аварійного відключення двох або трьох контакторів одночасно ланцюги живлення котушок увімкнення розв'язані блокуваннями КМ1, КМ2 і КМ3.

Трансформатори струму ТА1 і ТА2 навантажені на вимірювальні шунти RS1 і RS2 з опором 0.167 Ом.

Вимірювальні шунти виготовлені з константану і для зменшення перешкод.



3.3. Принципова силова схема високопродуктивного комплексу оцінки якості АД

Встановлені в пристрій сполучення, розташований у безпосередній близькості до обчислювальної машини та плати АЦП.

3.2. Режими роботи комплексу отримання та визначення інформації щодо стану параметрів асинхронних електродвигунів у процесі післяремонтних випробувань

Можна виділити такі чотири основні режими роботи комплексу тому розглянемо детальніше кожен із цих етапів.

Метою режиму роботи комплексу є реєстрація вихідних даних для подальшого розрахунку, а саме отримання миттєвих значень лінійних напруг (U_{AB}, U_{BC}) і струмів (I_A, I_C) статора для трьох режимів роботи АД:

а) Пуск двигуна прямим увімкненням у мережу без навантаження при номінальній напрузі, що підводиться до статора АД.

б) Холостий хід при номінальній напрузі.

в) Холостий хід при зниженій напрузі.

Зазначимо, що два режими холостого ходу АД при двох різних напругах, що підводяться до статора двигуна, необхідні для знаходження коефіцієнтів (А) і (В), які визначають форму кривої намагнічування.

Робота програми починається з формування керуючого сигналу, який вмикає силовий контактор КМ1.

Контактор КМ1 своїми контактами подає напругу 380 В на статор випробуваного АД.

Починається перший режим роботи АД: «пуск двигуна прямим увімкненням у мережу без навантаження».

Після цього керування передається підпрограмі «вимірювання (N) точок».

Підпрограма здійснює послідовне вимірювання (N) точок, що характеризують стан АД.

Під точкою вимірювання розуміється вимірювання та збереження в файлі даних ЕОМ миттєвих значень (U_{AB}, U_{BC}, I_A, I_C) у заданий момент часу.

Кількість точок вимірювання (N) задається при вході в підпрограму і характеризує тривалість роботи підпрограми, яка визначається виразом:

$$[t_n = \Delta t \cdot N,]$$

де (Δt) — інтервал часу між двома точками вимірювання.

Початок роботи підпрограми:

1. Отримання (зняття) вихідних даних:

$$[U_{AB} = f(t), U_{BC} = f(t), I_A = f(t), I_C = f(t)]$$

для трьох режимів роботи АД:

а) Пуск двигуна без навантаження.

б) Холостий хід при ($U = 380$) В.

в) Холостий хід при ($U = 220$) В.

2. Попередня обробка вихідних даних.

3. Визначення параметрів АД:

$$[J, R_s, A, B, R_r = f(\omega), L_r = f(\omega)]$$

4. Розрахунок статичних характеристик і показників якості АД.

5. Виведення результатів розрахунку АД на друкувальний пристрій.

Результати перетворення АЦП заносяться до масиву ($A(I, K)$).

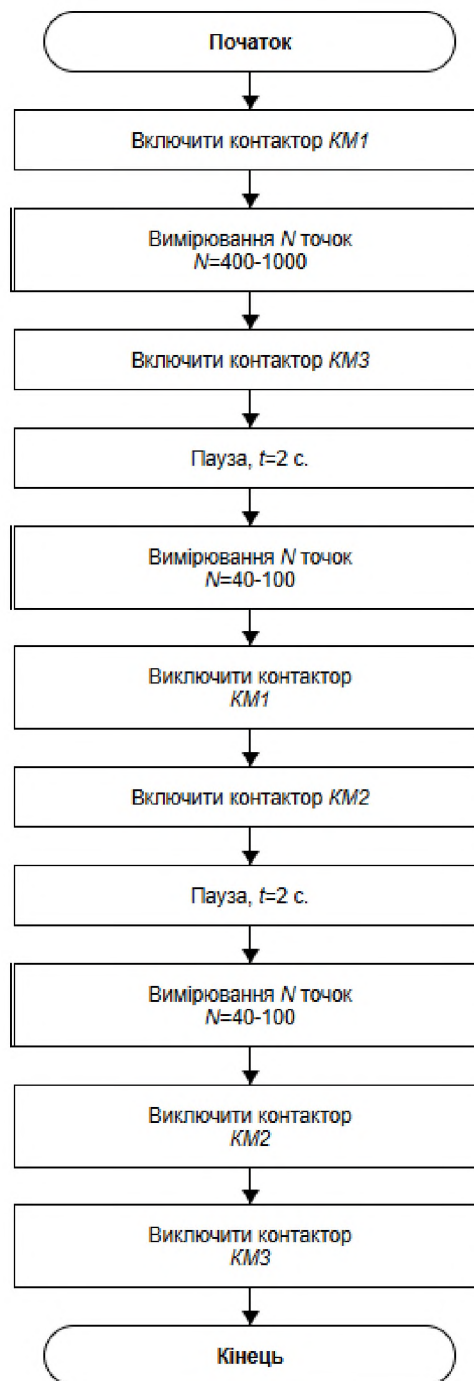


Рис. 3.4. Схема алгоритму підпрограми «вимірювання (N)-точок»:

(I) — номер вимірювальної точки; (K) — номер каналу АЦП: (K=1) — (U_{AB}), (K=2) — (U_{BC}), (K=3) — (IA), (K=4) — (IB); (N) — кількість точок вимірювання.

Кількість точок вимірювання (N) вибирається так, щоб за час роботи підпрограми (t_n) двигун досяг номінальної швидкості обертання.

Після завершення роботи підпрограми керування повертається до основної програми, яка готує до другого режиму роботи АД.

Програма формує керуючий сигнал, що вмикає контактор КМ3.

При увімкненні контактора відбувається перемикання межі вимірювання трансформаторів струму.

Після програмної паузи, необхідної для завершення перехідного процесу в двигуні, настає другий режим роботи АД: холостий хід при номінальній напрузі.

За допомогою підпрограми «вимірювання (N) точок» здійснюється реєстрація інформації за цим режимом роботи АД.

Далі програма вимикає силовий контактор КМ1 і вмикає контактор КМ2.

Цими діями здійснюється перемикання напруги, що підводиться до статора АД, з 380 В на 220 В.

Після програмної паузи, необхідної для завершення перехідного процесу в двигуні, настає третій режим роботи АД: холостий хід при зниженій напрузі.

За допомогою підпрограми «вимірювання (N) точок» здійснюється реєстрація інформації за цим режимом роботи АД.

Програму завершують дії з відключення контакторів КМ2 і КМ3, що приводять силову схему випробувального стенда до початкового стану.

Висновки

Особливо важливим елементом будь-якого промислового підприємства є електромеханічне обладнання, зокрема асинхронні електродвигуни, які становлять основу електроприводів технологічних процесів.

Ці машини споживають значну частину електроенергії підприємства і від їх надійної роботи безпосередньо залежить безперервність виробництва.

Цей факт робить критично важливим питання своєчасної діагностики технічного стану електродвигунів та прогнозування їх можливих відмов.

Одним з найважливіших діагностичних параметрів обмотки статора асинхронного електродвигуна є активний опір, який характеризує стан ізоляції, наявність виткових замикань та загальний термічний режим роботи машини.

Проте існуюча практика вимірювання цього параметра часто не враховує температурні зміни опору під час роботи двигуна, що призводить до неточності результатів та помилкової оцінки технічного стану обладнання.

Більшість існуючих методів вимірювання активного опору обмотки статора мають загальний недолік – відсутність системного підходу до врахування температурних поправок та приведення результатів до стандартних умов.

В результаті цього при проведенні діагностики виникають похибки у визначенні реального стану обмотки, що ускладнює процес прийняття рішень про необхідність ремонту чи заміни електродвигуна та може призвести до позапланових аварійних зупинок обладнання.

У даній випускній роботі було поставлено за мету розробити чітку методику визначення активного опору статора з урахуванням температурних

змін та встановити практичні рекомендації щодо оцінки технічного стану обмотки на основі отриманих результатів вимірювань.

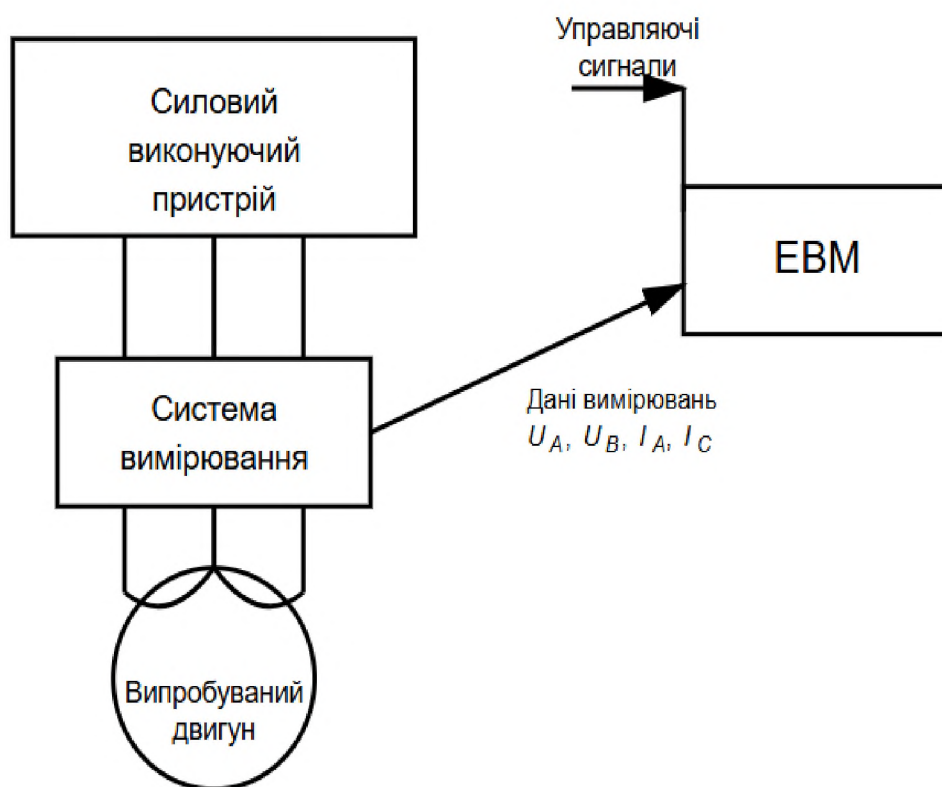
Список використаних джерел

1. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Квітка О.С. Дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні. Науковий вісник ТДАТУ, 2017. Вип.7, Т.1. С. 126–134.
2. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Стребков О.А., Волошина А.А. Розробка системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна. Енергетика і автоматика. 2016. №4(30). С. 89–97.
3. Квітка С.О., Безменнікова Л.М., Вовк О.Ю., Квітка О.С. Пристрій захисту групи трифазних асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи. Праці ТДАТУ, 2012. Вип.12, Т.2. С. 23–27.
4. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Квітка О.С. Пристрій контролю функціонального стану та захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи. Вісник ХНТУСГ. 2014. Вип.153. С.85–87.
5. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Безменнікова Л.М. Періодичне діагностування механічної частини робочої машини з асинхронним електроприводом в експлуатації. Праці ТДАТУ. 2012. Вип.12, Т.2. С. 54–58.
6. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Квітка О.С. Пристрій контролю функціонального стану і захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи. Вісник ХНТУСГ. 2017. Вип.186. С. 90–92.
7. Вовк О.Ю., Квітка С.О. Періодичний контроль функціонального стану асинхронних електродвигунів за енергетичними показниками. Праці ТДАТУ. 2020. Вип.20, Т.4. С. 115–125.
8. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Квітка О.С. Експлуатаційний контроль функціонального стану осердя та механічної системи асинхронних електродвигунів. Науковий вісник ТДАТУ. 2017. Вип.7, Т.1. С. 85–93.

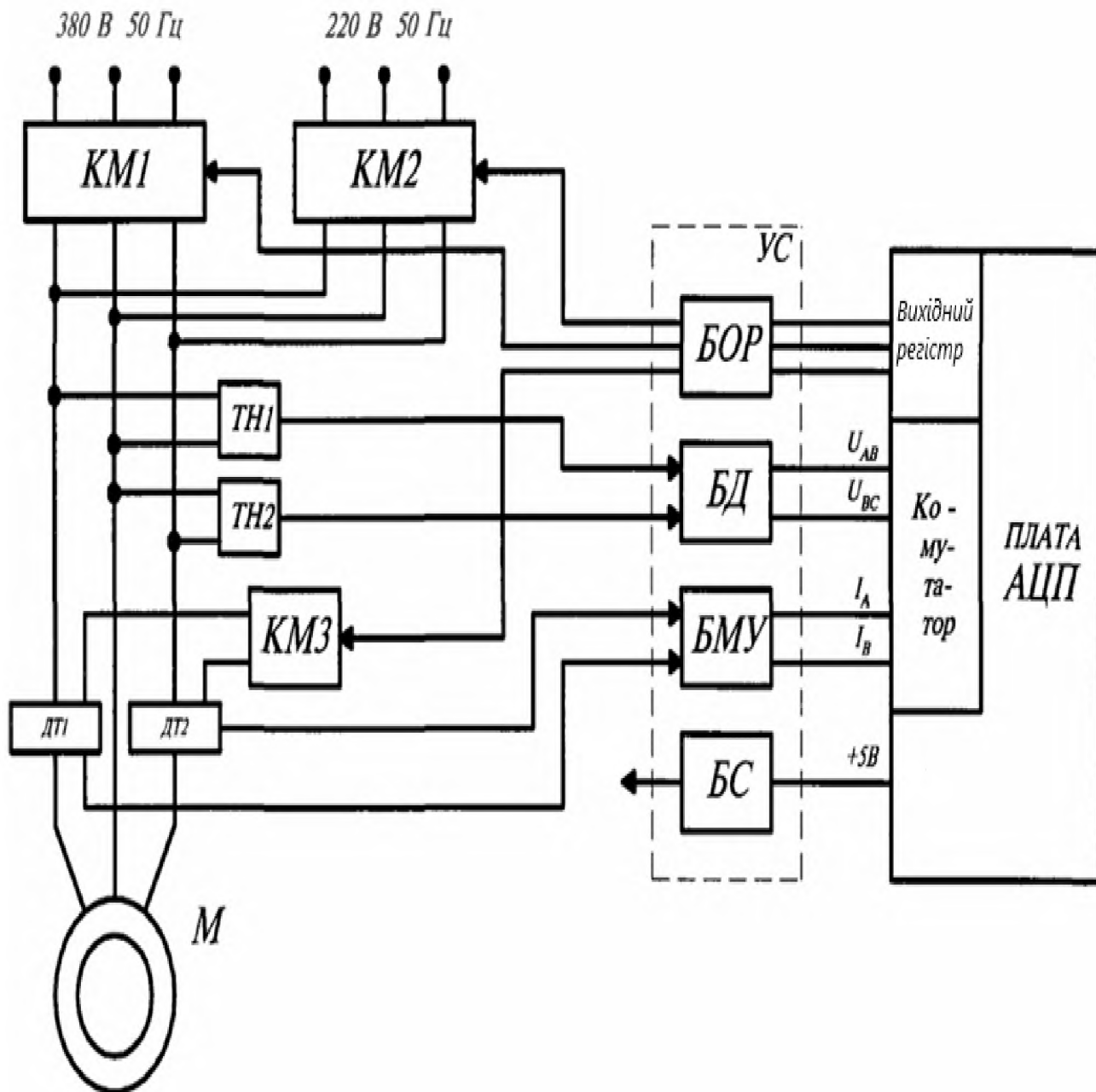
9. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Безменнікова Л.М. Обґрунтування параметрів функціонального стану асинхронних електродвигунів. Праці ТДАТУ. 2008. Вип.8, Т.9. С. 129–137.

Додатки

Функціональна схема комплексу



Структурна схема силового виконавчого пристрою та системи
вимірювання



(М) — випробуваний електродвигун; (KM1, KM2, KM3) — силові контактори; ДС1, ДС2 — датчики струму УТТ-5; ТН1, ТН2 — вимірювальні трансформатори напруги УТН1; ПС — пристрій сполучення; БОР — блок оптронних розв'язок; БД — блок дільників; БМП — блок масштабуючих підсилювачів; БС — блок зміщення; АЦП — аналого-цифровий перетворювач

Порівняльна таблиця вибору АЦП

№ п/п	Показник	Одиниці вимірювання	Значення
1	Вхідна напруга каналу АЦП	В	0–10
2	Кількість розрядів дискретизації АЦП	шт.	10
3	Час перетворення	мкс	25
4	Кількість каналів	шт.	4
5	Кількість розрядів вихідного регістра	шт.	8
6	Похибка перетворення	ЕМР	± 1
7	Максимальний струм виходу	мА	16

Принципова силова схема високопродуктивного комплексу оцінки
якості АД

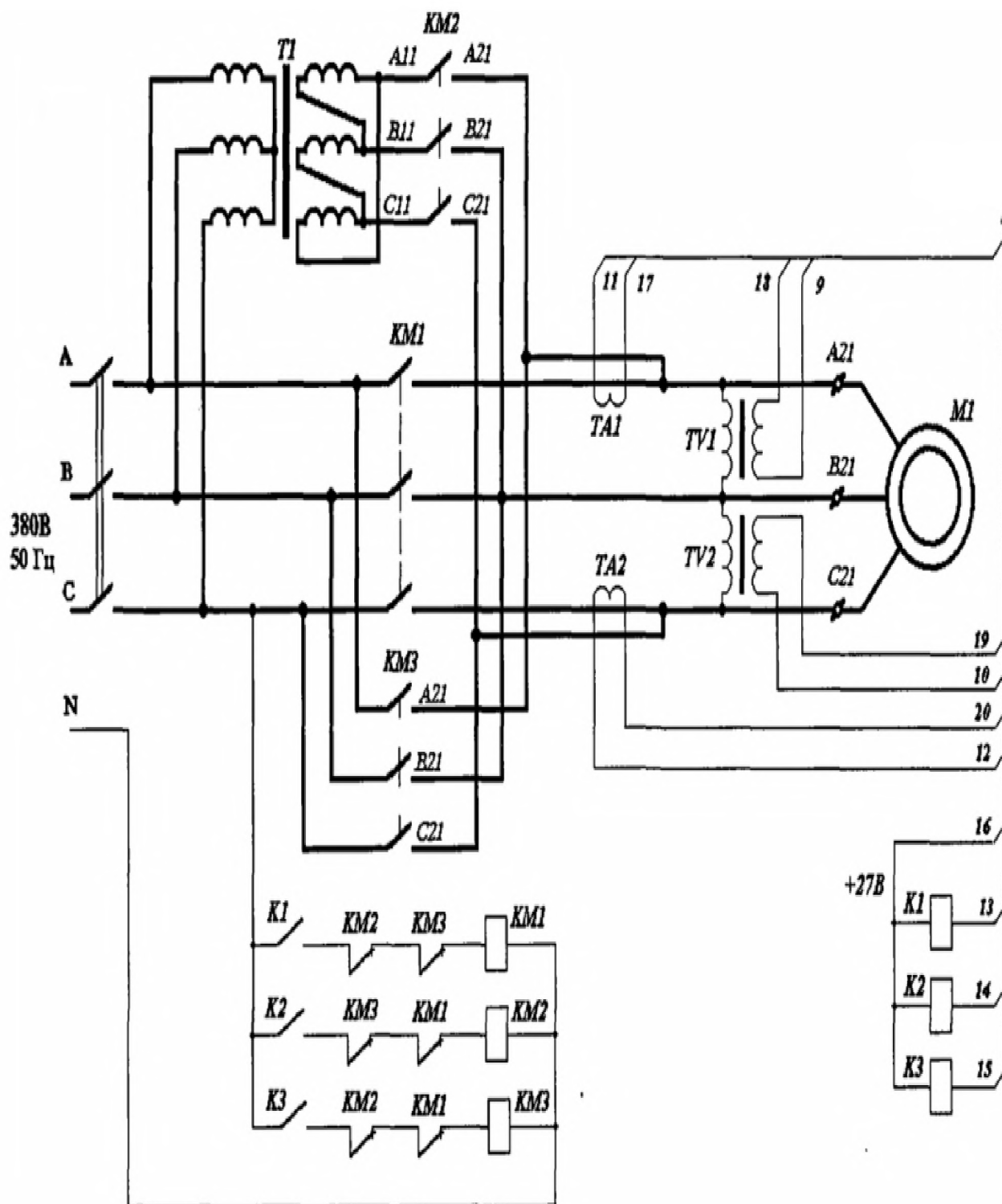
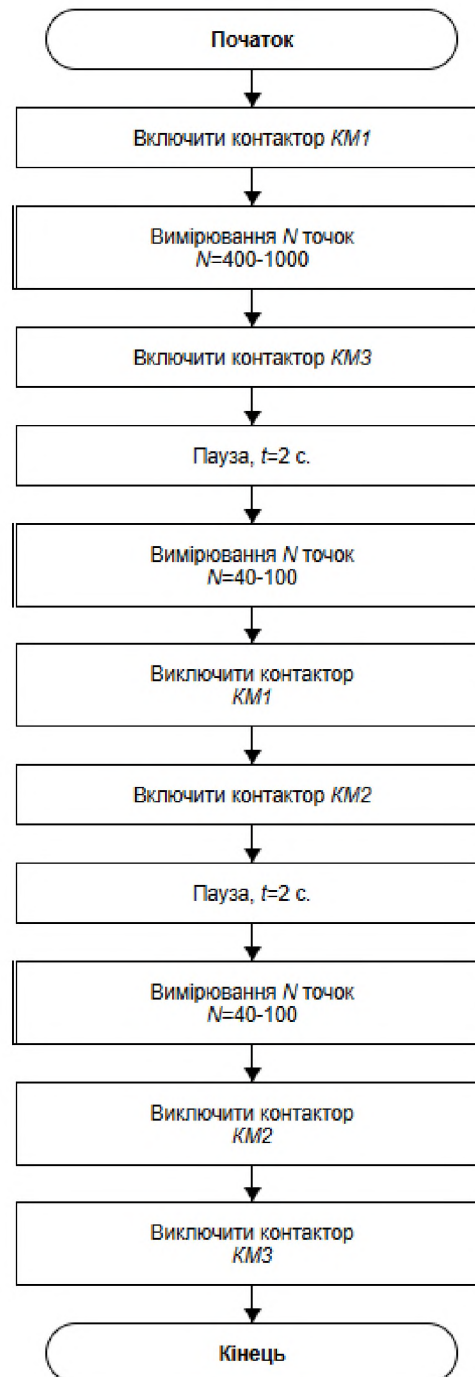


Схема алгоритму підпрограми «вимірювання (N)-точок»



(I) — номер вимірювальної точки; (K) — номер каналу АЦП: (K=1) — (U_{AB}) , (K=2) — (U_{BC}) , (K=3) — (IA), (K=4) — (IB); (N) — кількість точок вимірювання