

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# ОСНОВИ ПРОМИСЛОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

**Навчальний посібник**

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра  
за освітньою програмою «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»  
спеціальності 131 Прикладна механіка

Укладачі: В.П. Лукавенко, А.І. Зілінський

Електронне мережне навчальне видання

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2022

Рецензент *Слободянюк І.В.*, канд. техн. наук. доц., КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Данильченко Ю.М.*, д-р техн. наук, проф.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)  
за поданням Вченої ради Навчально-наукового  
механіко-машинобудівного інституту  
(протокол № 8 від 30.05.2022 р.)*

У навчальному посібнику наведено матеріали для вивчення особливостей промислового електроприводу з точки зору прикладних задач та лабораторних робіт на реальних лабораторних стендах Навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського. Представлено теоретичні відомості з курсу та приклади виконання лабораторних робіт. Практикум призначений для студентів Навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту та може бути корисним здобувачам ступеня бакалавра, що вивчають дисципліни «Основи промислового електроприводу» відповідно за спеціальністю 131 Прикладна механіка.

Реєстр. № НП 21/22-660. Обсяг 3,2 авт. арк.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056  
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

## Зміст

Вступ .....	6
Загальні методичні вказівки .....	7
Коротка інструкція з техніки безпеки .....	8
Лабораторна робота №1 .....	9
2.1 Мета роботи: .....	9
2.2 Основні відомості по темі.....	9
2.3 Функціональні можливості ПЗ PowerGraph .....	10
2.4 Апаратура управління і захисту електроприводів .....	15
2.5 Програмне і апаратне забезпечення для виконання лабораторної роботи .....	21
2.6 Порядок виконання роботи.....	21
2.7 Контрольні питання.....	22
Лабораторна робота №2.....	23
3.1 Мета роботи: .....	23
3.2 Основні відомості по темі.....	23
3.3 Будова асинхронного двигуна.....	23
3.4 Методика визначення початків і кінців фаз статора при відсутності відповідного маркування виводів обмоток .....	27
3.5 Обладнання і прилади для виконання роботи .....	28
3.6 Порядок виконання роботи.....	28
3.7 Контрольні питання до роботи.....	29
Лабораторна робота №3.....	30
4.1 Мета роботи: .....	30
4.2 Основні відомості по темі.....	30
4.3 Обладнання і прилади .....	33
4.4 Порядок виконання роботи: .....	33
4.5 Контрольні питання до лабораторної роботи:.....	33
Лабораторна робота №4.....	35

5.1	Мета роботи: .....	35
5.2	Основні відомості по темі.....	35
5.3	Конструкція і принцип дії лабораторної установки автоматизованого приводу компресора .....	35
5.4	Порядок виконання роботи.....	37
5.5	Контрольні питання по лабораторній роботі.....	37
	Лабораторна робота №5.....	39
6.1	Мета роботи.....	39
6.2	Основні відомості по темі.....	39
6.3	Конструкція і принцип дії лабораторної установки .....	40
6.4	Складання вимірювальної схеми запису і реєстрації сигналів датчиків .....	42
6.5	Налаштування програмного середовища ZETlab.....	44
6.6	Визначення тарувальних характеристик динамометричних пластин установки .....	47
6.7	Порядок виконання роботи.....	48
6.8	Контрольні питання.....	48
	Лабораторна робота №6.....	49
7.1	Мета роботи: .....	49
7.2	Основні відомості по темі.....	49
7.3	Конструкція і принцип дії лабораторної установки .....	49
7.4	Складання вимірювальної схеми запису і реєстрації сигналів датчиків .....	51
7.5	Налаштування програмного середовища powergraph.....	53
7.6	Порядок виконання роботи.....	55
7.7	Контрольні питання.....	57
	Лабораторна робота №7.....	58
8.1	Мета роботи: .....	58
8.2	Конструкція і принцип дії лабораторної установки .....	58
8.3	Основні теоретичні положення до лабораторної роботи .....	58
8.4	Порядок проведення роботи.....	60

8.5	Контрольні запитання та завдання .....	61
	Лабораторна робота №8.....	62
9.1	Мета роботи: .....	62
9.2	Основні відомості по темі.....	62
9.3	Обладнання і прилади для виконання роботи .....	65
9.4	Порядок виконання роботи.....	68
9.5	Контрольні питання до роботи.....	69
	Рекомендована література.....	70
	Додатки .....	71
	Приклад титульної сторінки протоколу лабораторної роботи .....	71

## Вступ

Лабораторні заняття - це один з видів самостійної практичної роботи учнів, на якому шляхом проведення експериментів відбувається поглиблення і закріплення теоретичних знань в інтересах професійної підготовки.

Особлива роль в цьому процесі відводиться лабораторного експерименту. Саме в цей момент і потрібні навчальні лабораторні стенди з гідравліки, що дають можливість отримати практичні вміння, при цьому працюючи не тільки самостійно, але і в колективі. Все це вже сьогодні дозволяє вивести різні експерименти і досліді на новий рівень.

Проведення ефективних лабораторних досліджень сьогодні складно уявити без спеціалізованих стендів, до числа яких можна сміливо віднести і навчальні лабораторні стенди з автосправи, авто. За допомогою такого стенду роботи ведуться за допомогою максимально простих установок і комплексів.

## **Загальні методичні вказівки**

До роботи в лабораторії допускаються студенти, які володіють необхідним мінімумом теоретичних знань з електроприводу та курсу електротехніки. Лабораторні роботи виконуються для групи студентів в кількості до 15 осіб.

Кожен протокол лабораторної роботи повинен мати титульну сторінку, зразок якої наведено у Додатках.

Кожен студент повинен ознайомитись з метою лабораторної роботи, вивчити за навчальними посібниками теорію і підготувати до початку занять протокол проведення лабораторно роботи відповідно до методичних вказівок. Студенти, які успішно пройшли контроль знань, прослуховують інструктаж з правил техніки безпеки і приступають до виконання робіт.

При виконанні лабораторних робіт студент повинен суворо виконувати правила техніки безпеки.

Зібрання схеми здійснюється за допомогою спеціальних монтажних провідників з наконечниками. Вмикати лабораторну установку можна тільки з дозволу викладача після детальної перевірки лаборантом правильності виконаних електричних з'єднань.

Після проведення досліджень і запису отриманих результатів виконуються необхідні розрахунки, заповнюються відповідні таблиці протоколу отриманими даними, протокол виконання лабораторної роботи показується викладачеві. Студенти, які не засвоїли теоретичний матеріал, а також не представили звіт з попередньої роботи, до виконання лабораторної роботи не допускаються. У звіті протоколу лабораторної роботи обов'язково повинні бути наведені висновки по виконаній лабораторній роботі.

Після оформлення звітів студенти здають їх викладачеві. Під час захисту вони повинні показати знання основних теоретичних положень, пов'язаних з виконаними роботами, вміння розуміти схеми лабораторних установок та всі виконані ними досліди і розрахунки.

Для самоконтролю під час підготовки до лабораторної роботи та її захисту в кінці кожної роботи наведені питання для самоперевірки.

## Коротка інструкція з техніки безпеки

Для уникнення нещасних випадків під час роботи в лабораторії слід дотримуватись наступних основних положень і правил техніки безпеки:

1. До початку роботи всі студенти повинні досконало вивчити схему з'єднання, засвоїти розміщення елементів електрообладнання звернувши особливу увагу на положення вимикачів з боку мережі живлення.
2. Збирання схеми та її переключення повинні проводитись при вимкнених вимикачах з боку мережі живлення.
3. Перед введенням в дію лабораторної установки слід обов'язково провести її огляд і впевнитись у відсутності сторонніх предметів. Стосовно деталей, що обертаються, необхідно перевірити надійність захисних конструкцій.
4. Вмикати лабораторну установку повинен лаборант після перевірки, чи немає небезпеки доторкання до струмопровідних елементів схеми і попередження всіх працюючих на установці.
5. Студентам не дозволяється змінювати самостійно конструктивні елементи установок: з'єднувальні провідники, вимикачі, реле і т. ін.
6. Категорично забороняється спиратись на лабораторний стенд та елементи схеми, переступати через частини обладнання, що обертаються.
7. Заміна запобіжників проводиться викладачем чи лаборантом після того, як на робочому щиті будуть вимкнені всі вимикачі.
8. Дозволяється розбирати схему тільки при знятій напрузі та вимкнених автоматичних вимикачах.
9. Категорично забороняється увімкнення стенда під напругу без перевірки схеми з'єднань викладачем.



# Лабораторна робота №1

## Засоби реєстрації сигналів датчиків в процесі проведення експериментальних досліджень. Апаратура управління і захисту електроприводів

### 1.1 Мета роботи:

- Ознайомитись з функціональними можливостями програмного засобу «PowerGraph», його інсталяцією та налаштуванням;
- Вивчити конструктивні особливості автоматичних вимикачів, магнітних контакторів та пускачів, проміжних реле, пристроїв захисного відключення;
- Експериментально перевірити роботу автоматичного вимикача та порівняти паспортне значення та фактичний струм спрацювання вимикача.

### 1.2 Основні відомості по темі

Важливою проблемою навчання у вищих технічних навчальних закладах є практична складова навчального процесу, а саме, набуття студентами вмінь і навичок експериментальних досліджень механізмів і машин з використанням сучасних комп'ютерних технологій.

Лабораторний практикум в курсі ОПЕ системно передбачає попереднє дослідження приводу аналітичними методами і вже далі, безпосередньо, реалізації експериментальної складової. Сьогоднішній рівень розвитку інформаційних комп'ютерних технологій дозволяє широке і ефективно використання програмних середовищ, лабораторій віртуальних приладів для підвищення ефективності дослідження електромеханічних систем

Потужними віртуальними середовищами для цього можуть бути використані "LabVIEW", "LabWindows" та ін. Виконаний порівняльний аналіз показав наявність цілком прийнятної за можливостями та доступного за вартістю програмного забезпечення "PowerGraph", за допомогою якого можливо здійснювати запис, обробку й зберігання аналогових та цифрових сигналів, отриманих засобами аналого-цифрових перетворювачів (АЦП).

Для прикладу, на рис. 1.1 наведена узагальнена блок-схема електричних з'єднань вимірювальної системи дослідження характеристик двигуна. Установка обладнана датчиками обертальних моментів, кутової швидкості ротора двигуна, схемою вимірювання струму в статорній обмотці. Схема

включає трансформатор струму ТС, випрямляч В та фільтр Ф. Вихід останнього під'єднано до аналогового входу АЦП. Безпосередньо до аналогового входу також під'єднано датчик швидкості валу ротора двигуна.

Візуалізація сигналів здійснюється засобами програмного забезпечення (ПЗ) «PowerGraph».

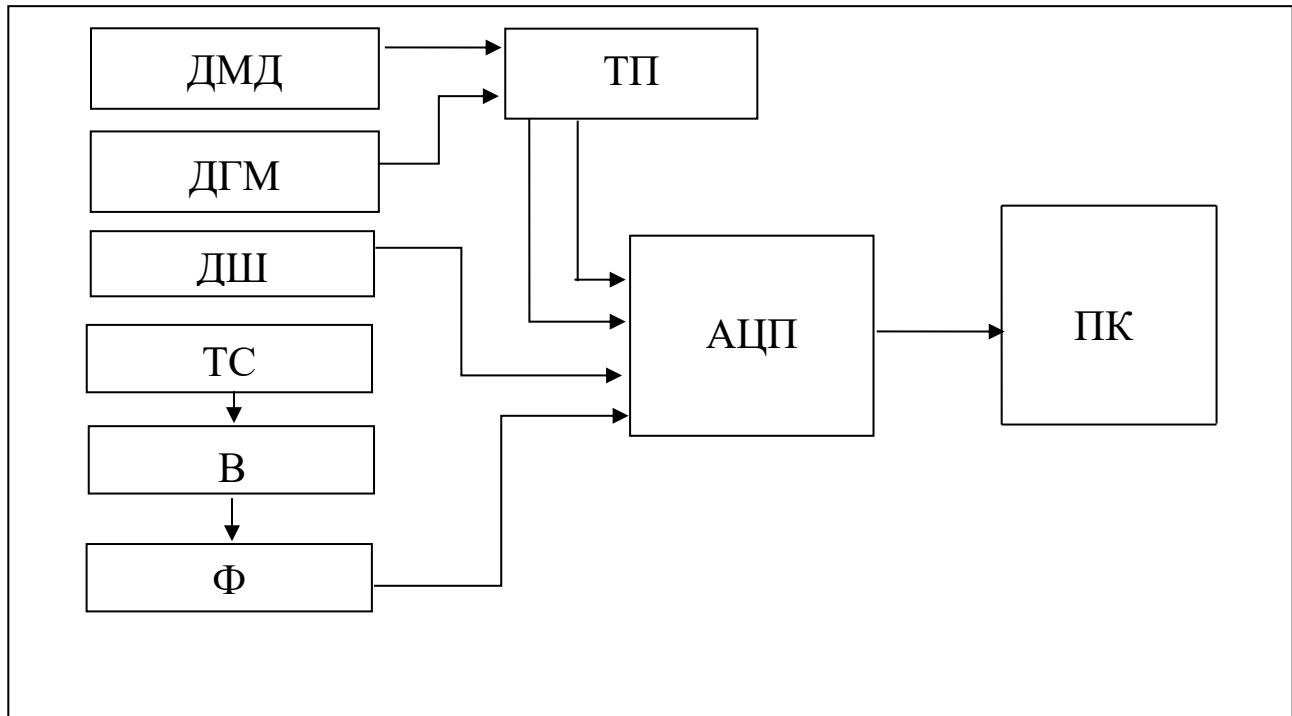


Рис. 1.1. Блок-схема електричних з'єднань вимірювальної системи

ПЗ «PowerGraph» дозволяє використовувати персональний комп'ютер як стандартний вимірювальний та реєструючий прилад - вольтметр, самописець, осцилограф, та ін. і має своїм призначенням:

- збір даних з різних вимірювальних пристроїв та приладів;
- реєстрація, візуалізація та обробка сигналів в режимі реального часу;
- редагування, математична обробка та аналіз даних;
- зберігання, імпорт і експорт даних.

### 1.3 Функціональні можливості ПЗ PowerGraph

#### Підтримка різних пристроїв збору даних:

- розширювана бібліотека драйверів, що включає плати та модулі АЦП;
- вимірювальні прилади, віртуальні генератори сигналів, комп'ютерні пристрої введення та звукозапису;
- можливість підключення нових пристроїв і джерел сигналів;
- підтримка керуючих компонентів пристроїв (цифрові входи / виходи, ЦАПи та ін.)

### **Реєстрація даних:**

- попередній моніторинг вхідних сигналів;
- індивідуальна настройка і калібрування каналів;
- використання будь-яких одиниць вимірювання сигналів;
- вибір довільного набору каналів для реєстрації;
- використання довільної швидкості запису (частоти оцифровки);
- запис серії незалежних вимірювань (блоків даних) в один файл;
- установка текстових міток (коментарів) на стрічці записи;
- введення і зберігання текстової інформації (замітки, примітки, протокол вимірювань) для кожного блоку даних і для всього файлу.

### **Візуалізація даних:**

- візуалізація сигналів в режимах самописця і осцилографа; ефективна система графічного представлення великих обсягів даних;
- вибір формату значень шкали часу (години, хвилини, секунди і т.д.);
- вибір довільного набору каналів для відображення;
- незалежне позиціонування та масштабування графіків;
- зміна кольору і стилю графіків і сітки.

### **Редагування даних:**

- можливість виділення ділянки даних для редагування і аналізу;
- додавання до поточного запису даних з інших файлів;
- зміна послідовності блоків даних;
- проріджування і усереднення даних по часу;
- коригування даних з використанням статистичних значень;
- графічне редагування окремих значень сигналу.

### **Обробка даних:**

- велика бібліотека функцій цифрової обробки сигналів;
- калібрування і коректування, частотна і амплітудна фільтрація, диференціювання та інтегрування, розрахунок параметрів циклічних сигналів, обчислення полінома, арифметичні і логічні операції, тригонометричні, логарифмічні та інші математичні функції;
- цифрова обробка сигналів в режимі реального часу;
- створення нових каналів з розрахунковими даними;
- необмежену кількість проміжних обчислень;
- запис протоколу обчислень для повторного використання комплексних алгоритмів математичної обробки.

### **Аналіз даних:**

- визначення параметрів сигналів за графіками за допомогою ковзних маркерів;
- додаткові графічні побудови - проекції, дотичні, статистичні рівні та розрахункові прямі;
- багатофункціональний спектроаналізатор - побудова різних типів спектральних графіків, розрахунок статистичних значень в заданих частотних смугах, безперервна реєстрація даних з побудовою спектрів в режимі реального часу;
- Двохкоординатний осцилограф - побудова графіків залежностей, у тому числі в режимі реального часу;
- гістограма розподілу сигналів по амплітуді;
- бібліотека статистичних та інформаційних функцій аналізу даних.

### **Друк даних:**

- друк графіків і сітки в масштабі міліметрового паперу;
- друк даних всього файлу, окремого блоку або виділеної ділянки;
- друк декількох блоків даних на одному аркуші або кожного блоку на окремих аркушах;
- друк в режимах незалежних графіків, суміщення сіток та суміщення нульових рівнів графіків;
- вибір друкованих елементів сторінки (назва файлу, осі X і Y, заголовки і параметри блоків даних, текстові замітки);
- експорт сторінок друку в форматі масштабованих векторних малюнків (метафайлів).

### **Файли, експорт та імпорт даних:**

- ефективний формат файлів, що дозволяє зберігати разом з даними різні налаштування, додатковий текст і таблиці розрахункових значень;
- збереження і використання індивідуальних налаштувань для кожного типу вимірювань;
- імпорт і експорт текстових файлів;
- імпорт і експорт звукових файлів;
- імпорт і експорт двійкових файлів;
- імпорт і експорт даних в текстовому форматі через буфер обміну.

## Інтерфейс програми

Головне вікно програми «PowerGraph» (рис.1.2.) містить функціональні частини:

1. меню і панель інструментів - займають верхню частину вікна програми.
2. графічний дисплей займає центральну частину вікна програми.
3. шкала амплітуди - розміщена зліва від графічного дисплея.
4. шкала часу - розташована під графічним дисплеєм.
5. інформаційна панель - розміщена з правої сторони зверху від графічного дисплея.
6. панель запису – розташована з правої сторони знизу від графічного дисплея.
7. рядок стану - розташований в нижній частині вікна програми.

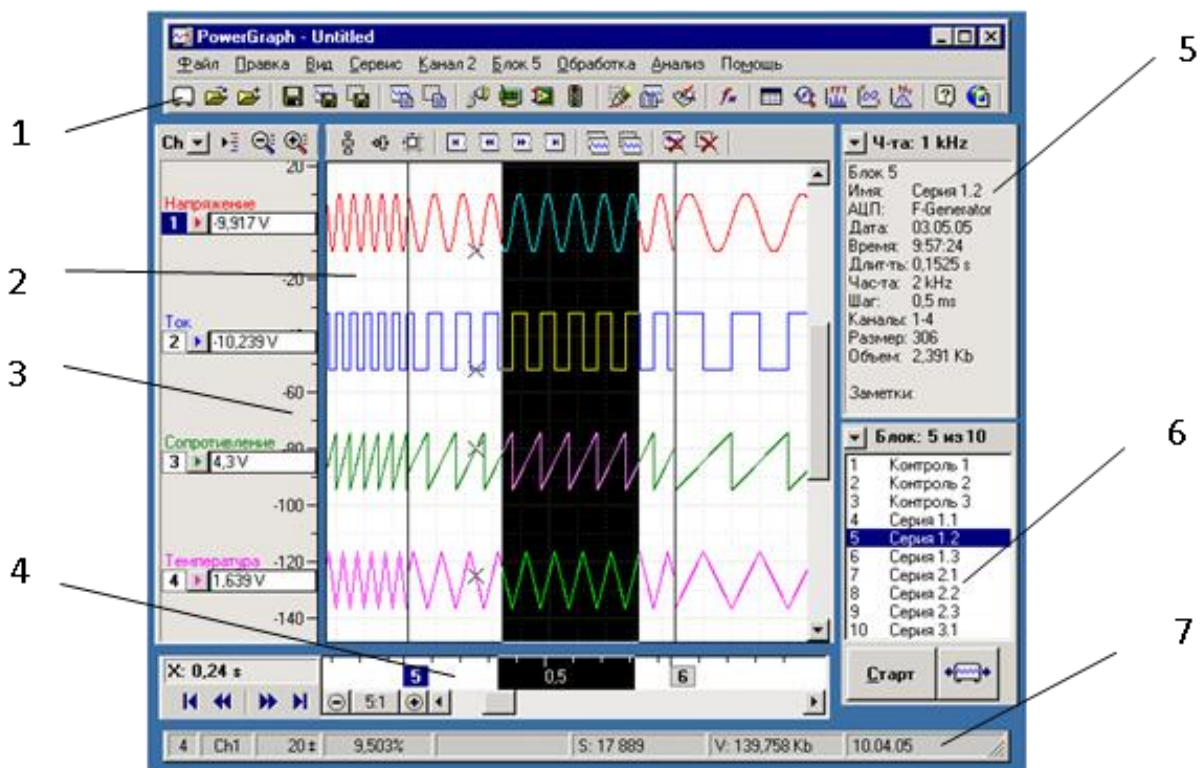


Рис. 1.2. Головне вікно ПЗ «PowerGraph»

## Графічний дисплей

кожному з графіків переміщається маркер, який вказує відповідну точку даних. Чисельне значення амплітуди сигналу в точці під маркером відображається на шкалі амплітуди.

## Шкала амплітуди

Шкала амплітуди містить кнопки управління каналами і графіками, які мають кольорове маркування. Зліва від кнопки графіка вказується номер

каналу, зверху - назва каналу, справа - масштаб шкали для даного каналу або поточне значення амплітуди сигналу під маркером. Шкала амплітуди дозволяють за допомогою миші змінювати положення кожного графіка по вертикалі.

### Шкала часу

Шкала часу містить вісь часу і горизонтальну смугу прокрутки, що дозволяє перегортувати вперед і назад стрічку записи. Зліва від смуги прокрутки розташовані кнопки, що дозволяють змінювати масштаб шкали часу. Для кожного блоку на осі часу також вказується його порядковий номер.

### Інформаційна панель

Інформаційна панель відображає додаткову службову інформацію - параметри блоків даних і області виділення, а також значення сигналів у процесі реєстрації. У верхній частині інформаційної панелі розташована додаткова кнопка для вибору швидкості реєстрації.

### Панель запису

Панель запису містить список всіх записаних блоків і кнопки керування процесом реєстрації даних. У верхній частині панелі запису розташована кнопка швидкого доступу до меню операцій над блоками.

Для запису осцилограми, яка відтворює силу струму, моменти на валах передачі і частоту обертання двигуна у функції часу необхідно обрати чотири графіки запису сигналів (рис.1.3.).

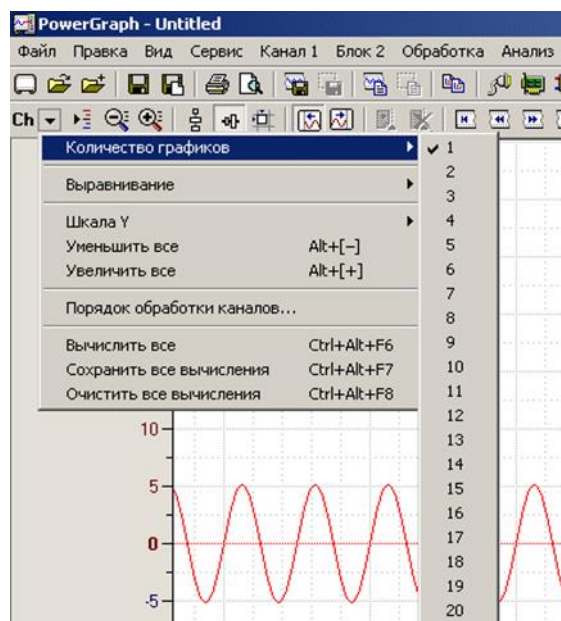


Рис. 1.3. Вибір кількості графіків

## Зміна масштабу графіків

Програма «PowerGraph» дозволяє масштабувати графіки для зручності перегляду записаних даних. Масштаб кожного графіку (значення амплітуди між сусідніми мітками шкали) вказується праворуч від кнопки графіка.

Допустимі значення масштабів знаходяться в діапазоні від 0,001 до 1000 в одиницях виміру каналу і становлять градації кратні 2, 5 і 10 (рис.1.4.).

## 1.4 Апаратура управління і захисту електроприводів

Для управління електроприводами використовується різноманітна апаратура, за допомогою якої реалізується інформаційний канал електроприводу, призначений для управління параметрами руху робочого органу машини відповідно до вимог технологічного процесу. Сукупність апаратів управління і датчиків електричних, механічних і технологічних параметрів утворює пристрій електроприводу, що інформаційно керує.

Для комутації силових електричних ланцюгів, пристроїв захисту і блокувань застосовуються, як правило, контактні електричні апарати. Для виконання логічних функцій управління, оптимізації параметрів руху електроприводу всі більшою мірою використовуються пристрої і керуючі

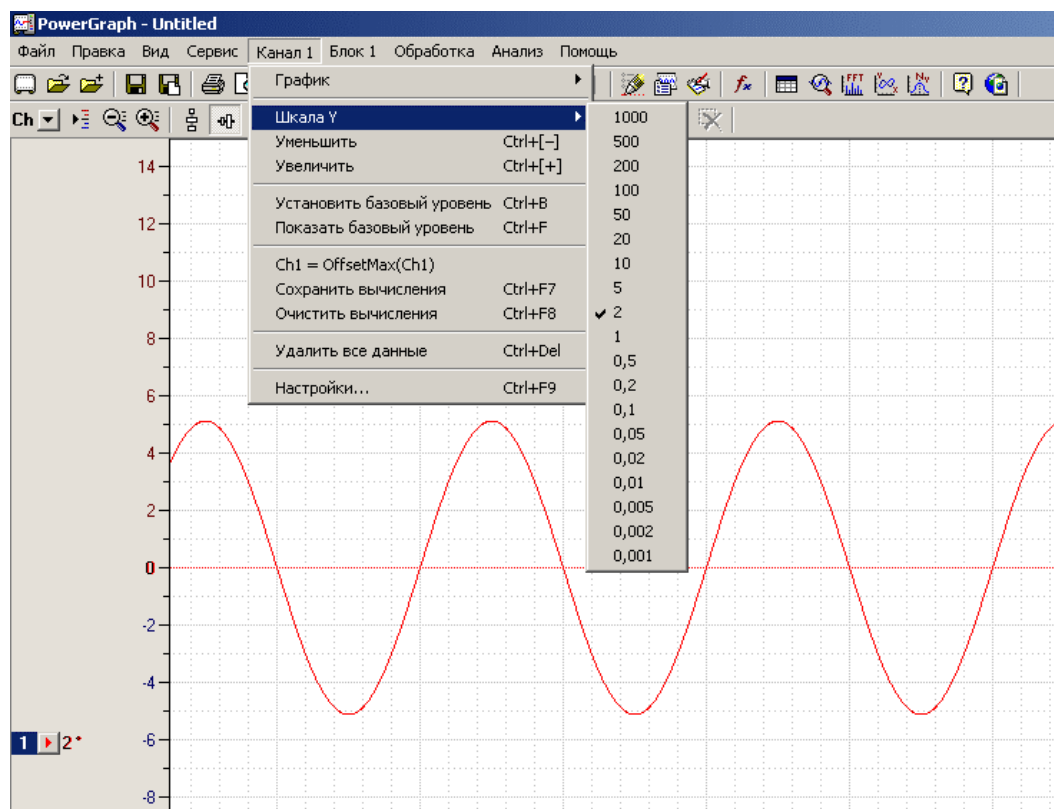


Рис. 1.4. Масштабування графіків у вікні графічного дисплею

системи обчислювальної техніки: мікропроцесорні засоби і системи, програмовані контролери і промислові комп'ютери.

Електромеханічні апарати управління електроприводами розрізняються по їх функціях, величині комутованого струму і напруги.

По виконуваних функціях:

- апарати захисту: автоматичні вимикачі, реле максимального і мінімального струму, плавкі запобіжники, теплові реле;
- комутаційна апаратура, призначена для оперативної комутації електричних ланцюгів; основними видами цих апаратів є пускачі і контактори;
- реле управління: проміжні, реле часу, струму, напруги;
- апарати оперативного керування: кнопки, перемикачі, командоконтролери.

**Автоматичні вимикачі (автомати).** Призначені для захисту електричних ліній і приймачів електроенергії від струмів короткого замикання і струмів перевантаження (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Автоматичні вимикачі: одно, двох та трьохполюсний

Сучасні автоматичні вимикачі мають теплові та електромагнітні розчіплювачі що дозволяє захистити від перегрівання, КЗ електроприладів чи проводки що може стати причиною пожежі (рис. 1.6.).

Електромагнітний розчіплювач спрацьовує миттєво. Складається з котушки та сердечника. Швидкозростаючий струм створює сильне магнітне поле що втягує сердечник, що й забезпечує розрив кола.

У випадку перенавантаження спрацьовує тепловий розчіплювач, являє собою біметалеву пластину що нагрівається і вигинається при перевищенні номінального значення струму та приводить в дію механізм розчеплення, він не реагує на короточасні стрибки струму що дозволяє запобігти помилковому спрацюванню через пускові струми.

Для силових електричних апаратів прийнятий ряд номінальних значень струмів: 10, 16, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000А і більше.



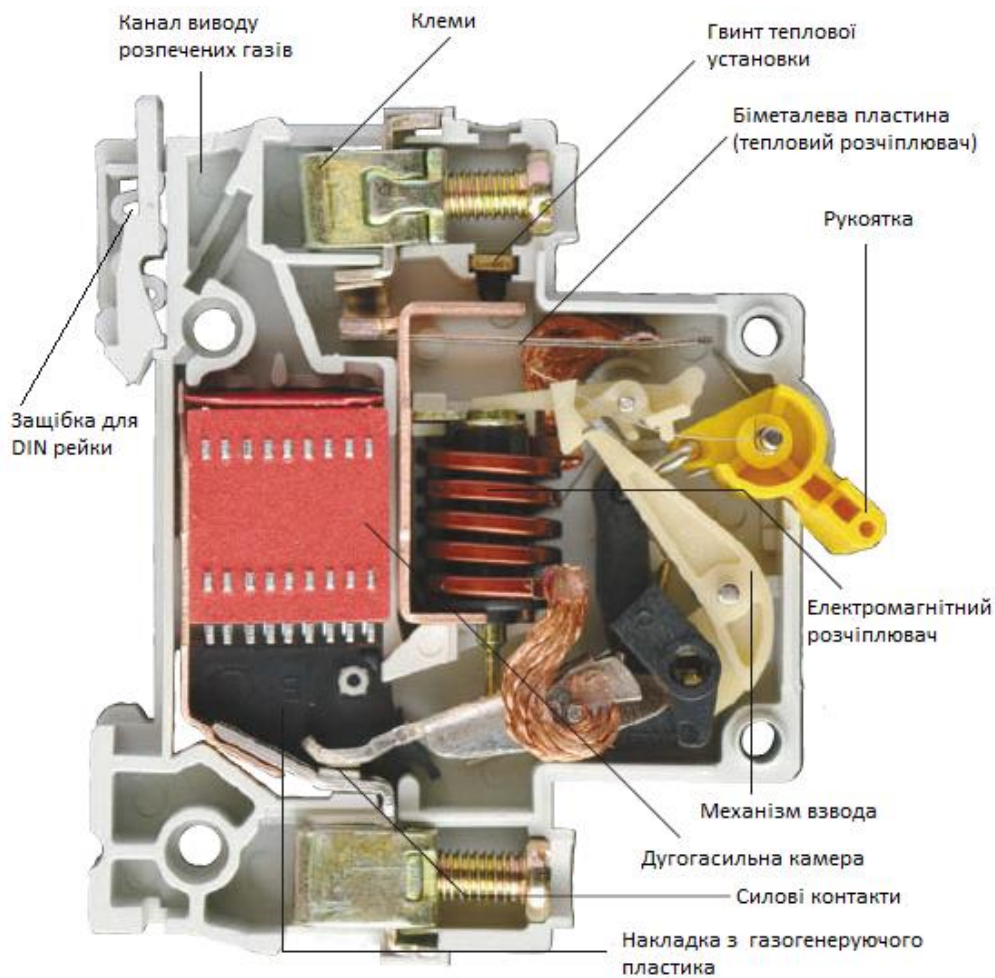


Рис. 1.6. Будова автоматичного вимикача

**Запобіжник** або **плавкий запобіжник** — комутаційний апарат, призначений для вимикання кола, яке він захищає, шляхом руйнування спеціально передбачених для цього струмоведучих частин під дією струму, що перевищує певне значення протягом визначеного часу, призначені для захисту електричних мереж від перевантажень і коротких замикань (рис. 1.7.). Вони дешеві і прості за конструкцією.

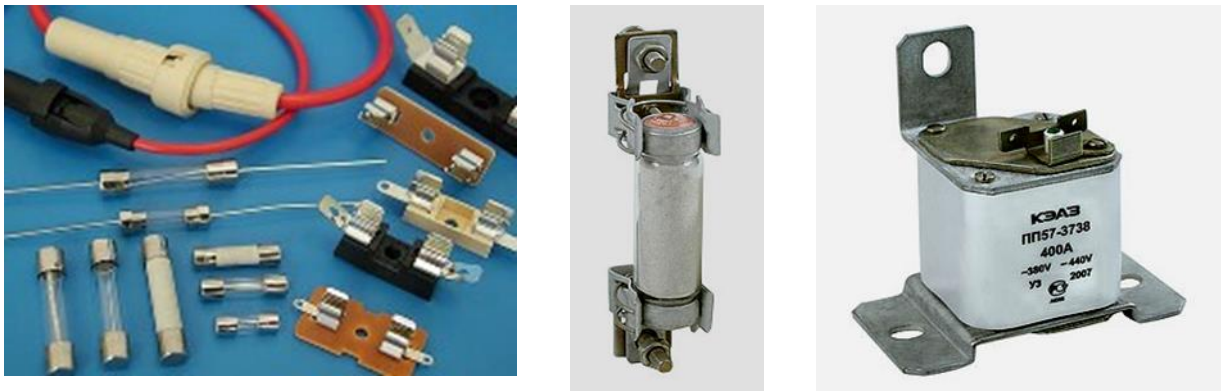


Рис. 1.7. Плавкі запобіжники

Основним робочим елементом запобіжника є плавкий елемент, виготовлений із сплавів легкоплавких металів і розташований у вставці та встановлений в тримачі запобіжника (англ. fuse-holder), що є поєднанням основи та тримача вставки.

**Контактори** відносяться до комутаційних апаратів і використовуються для замикання або розмикання електричних кіл, якими проходить великий струм, за допомогою електросхем з набагато-нижчим рівнем потужності ніж силові кола (рис. 1.8.). Основним призначенням контакторів є керування (вмикання та вимикання) обладнанням — електродвигунами, освітлювальними системами, електричними конденсаторами, обігрівачами промисловими електричними печами тощо. На відміну від автоматичних та поворотних вимикачів контактори повинні здійснювати комутації з досить великою частотою (до 1200 циклів на годину). Відтак ці апарати повинні мати високу механічну й електричну витривалість. Найчастіше контактори використовуються у магнітних пусках. Електромагнітні контактори серії КТ - це комутуючі пристрої, призначені для дистанційних частих запусків і відключень приймачів електричної енергії. Переважно використовуються в складі вантажопідйомного обладнання.

Промисловістю випускаються контактори постійного струму одно- і двохполюсні на струми від 25 до 250А і контактори постійного струму однополюсні для частих включень на струми від 100 до 630 А. Контактори змінного струму випускаються на струми від 63 до 1000А і мають від двох до 5 (частіше всього 3) головних контактів.

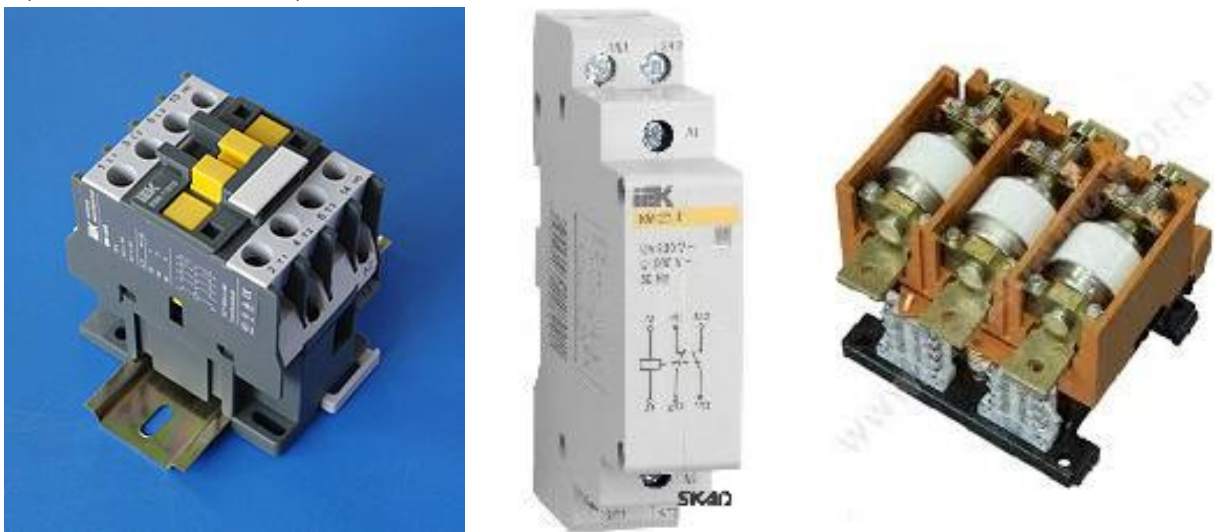


Рис. 1.8. Контактори

**Магнітні пускачі.** Це спеціалізовані контактори, призначені для керування живленням електродвигунів: їх пуску, розгону, забезпечення неперервної роботи, відключення живлення та захисту електродвигунів від перевантажень. Частота комутацій пускача зазвичай не перевищує 30 циклів на годину. Конструктивно пускач — це комбінація усіх комутаційних засобів, потрібних для запуску та зупинки електродвигуна, у поєднанні з належним захистом від перевантажень. Пускач у своїй основі містить контактор (може бути нереверсивним і реверсивним, тобто містити 2 контактори), який укомплектовано додатковими приладами: тепловим реле, плавкими запобіжниками, кнопками керування та додатковою контактною групою чи автоматом для пуску електродвигуна.

Магнітні пускачі, що випускаються, розрізняються на нереверсивні і реверсивні, по величині номінального струму на 6 габаритів (10, 25, 40, 63, 100, 160А), наявності теплових реле і інших вбудованих елементів. Промисловістю випускаються магнітні пускачі серій ПМЛ, ПАЕ, ПА, ПМЕ та інші.

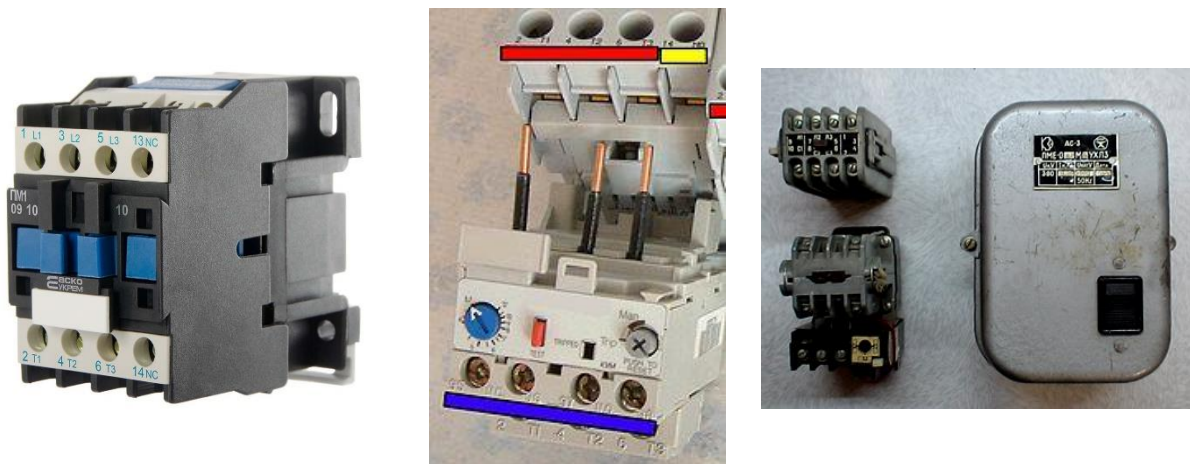


Рис. 1.9. Магнітні пускачі

**Реле управління і захисту.** У системах управління і захисту широко використовуються електромагнітні реле, призначені для комутації ланцюгів управління (рис. 1.10.). Комутаційна здатність контактів реле не перевищує, як правило, 6А.

Проміжні реле призначені для передачі команд з одного ланцюга в інший і для збільшення числа контактів, що одночасно спрацьовують, а також для збільшення потужності дискретного сигналу, що передається. Реле напруги використовуються в ланцюгах захисту від зникнення або неприпустимого зниження напруги. Котушки реле напруги і проміжних розраховані на напругу постійного струму 12, 24, 48, АЛЕ і 220В. Проміжні реле можуть мати до 8 нормально відкритих (н.в.) і нормально закритих (н.з.) контактів.



Рис. 1.10. Проміжні реле

**Пристрої захисного відключення (ПЗВ, УЗО, Дифреле)** – пристрій, який призначений для захисту від витоків струму. ПЗВ захищає життя людини при його дотику до струмоведучих частин, на яких є фазна напруга. ПЗВ у момент дотику має відключитися, зберігши людині життя (рис. 11.). Крім того, протікання струму через не призначені для цього матеріали може призвести до займання. У будівлях зі старою електропроводкою, пожежі від пошкодження ізоляції трапляються досить часто. Тоді ПЗВ виконує протипожежну функцію. Важливо пам'ятати, що ПЗВ не захищає від перевантаження та короткого замикання, для такого захисту ПЗВ встановлюють з одним автоматом, або групою автоматичних вимикачів. Також випускають так звані **Диференційні автомати**, які містять в одному корпусі як ПЗВ, так і автоматичний вимикач для захисту від короткого замикання і струмів перевантаження. Світова практика показала, що ПЗВ - дійсно ефективний електрозахисний засіб в побуті, і нині тільки в Західній Європі експлуатуються сотні мільйонів таких приладів різних типів. Схема дії ПЗВ досить проста: "відчувши" наявність надструмів або струмів витоку в ділянці мережі, що захищається, пристрій відключає її. Іноді ПЗВ навіть називають блоком витоку струму. Використовують пристрої не замість, а разом з автоматичними вимикачами або із запобіжниками, які захищають їх від термічних або динамічних перевантажень.

Принцип дії цього спеціального приладу ґрунтується на порівнянні ним струмів, що проходять по фазі і по "нулю". Якщо їх різниця (витік струму) вище за значення вказаного порогу на ПЗВ, то диференціальний автоматичний вимикач спрацює, відключаючи і фазу, і "нуль". (ПЗВ може спрацювати і при вимкненому автоматі (відключеній фазі), якщо по "нулю" потік струм.

Диференціальний автоматичний вимикач підключається до електричної мережі так, щоб поля, що наводяться фазою і нейтраллю і пристрої, що проходять через сердечника, були протилежно спрямовані, внаслідок чого вони компенсують один одного. У разі виникнення витoku трифазних ПЗВ порівнюються суми струмів фаз з "нулем").



Рис. 1.11. ПЗВ

## 1.5 Програмне і апаратне забезпечення для виконання лабораторної роботи

Програмне забезпечення PowerGraph, автоматичні вимикачі, теплові реле, магнітні контактори і пускачі, проміжні реле, навантажувальний реостат, амперметр, вольтметр.

## 1.6 Порядок виконання роботи.

1. Ознайомитись з особливостями інсталяції програмного засобу «PowerGraph» на персональний комп'ютер.
2. Освоїти послідовність дій для активізації необхідної кількості осцилограм у робочому вікні ПЗ
3. Активізувати вбудований в ПЗ генератор сигналів і виконати виміри амплітудних значень сигналів, їх період та частоту.
4. Вивчити будову та принцип дії автоматичних вимикачів.
5. Вивчити конструктивні особливості реле, призначених для роботи в ланцюгах постійного та змінного струмів.
6. Визначення сили струму за якої відбудеться спрацювання автоматичного вимикача.

7. Ознайомитись з роботою пристроїв захисного відключення (ПЗВ)
8. Вивчити наслідки проходження струму через організм людини.
9. Зібрати схему рис. 1.12 за вказаним типом автоматичного вимикача. Початкове положення повзунка реостата – крайнє ліве. Поступовим зменшенням опору  $R$ , для чого повзунок реостату переміщують вправо, досягають спрацювання автоматичного вимикача. Далі порівнюють паспортне і фактичне значення сили струму, що викликала спрацювання вимикача.

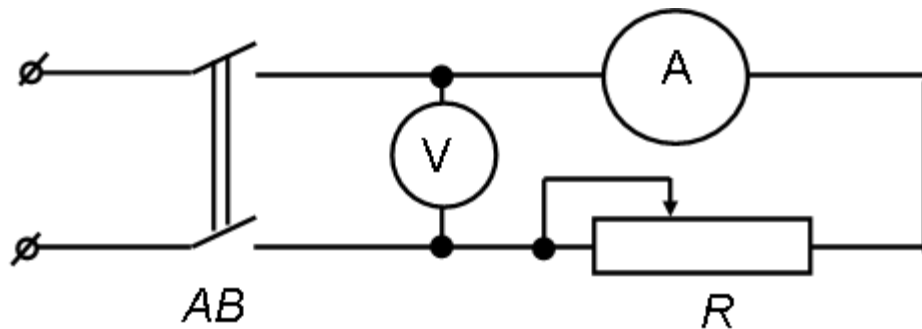


Рис. 1.12. Схема випробування автоматичного вимикача

## 1.7 Контрольні питання

1. Які можливості програмного засобу "PowerGraph" ?
2. Показати послідовність налаштування програмного засобу "PowerGraph".
3. Навести блок-схему з'єднань для експериментальних досліджень електромеханічних систем .
4. Які прилади необхідні для експериментального дослідження електромеханічних систем і запису сигналів датчиків у режимі реального часу?
5. Принцип дії автоматичного вимикача?
6. Принцип дій магнітного контактора та магнітного пускача?
7. Навести електричну схему для експериментального дослідження роботи автоматичного вимикача.
8. Як розрахувати необхідні параметри автоматичного вимикача?

## **Лабораторна робота №2**

### **Будова асинхронного двигуна, схема включення обмоток в зірку і трикутник, визначення маркування фаз обмотки статора**

До роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж по ТБ і перевірку знань і вимог охорони праці та техніки безпеки.

#### **2.1 Мета роботи:**

- Вивчити особливість будови АД з короткозамкненим (КЗ) та фазним ротором;
- Вивчити методику і виконати на конкретному двигуні розмітку фаз статора за умови відсутності відповідного маркування;
- Визначити і скласти необхідну схему включення (зірка чи трикутник) обмоток статора відповідно марки двигуна і параметрів мережі живлення;
- Визначити частоту обертання двигуна теоретично і експериментально за допомогою тахометра.

#### **2.2 Основні відомості по темі.**

За останні роки асинхронні двигуни (АД) знайшли дуже широке застосування в різних галузях промисловості і сільського господарства. Їх використовують в електроприводі металорізальних верстатів, підйомно-транспортних машин, конвеєрів, насосів, вентиляторів. Малопотужні двигуни використовуються в пристроях автоматики.

Широке застосування АД пояснюється їх перевагами в порівнянні з іншими двигунами: висока надійність, можливість роботи безпосередньо від мережі змінного струму, простота обслуговування.

#### **2.3 Будова асинхронного двигуна**

Нерухома частина машини називається статор, рухома - ротор. Сердечник статора набирається з листової електротехнічної сталі і запресовується в станину. На рис. 2.1 показаний сердечник статора в зборі. Станина 1 виконується литою, з немагнітного матеріалу.

Найчастіше станину виконують з чавуну або алюмінію. На внутрішній поверхні листів 2, з яких виконується сердечник статора, є пази, в які

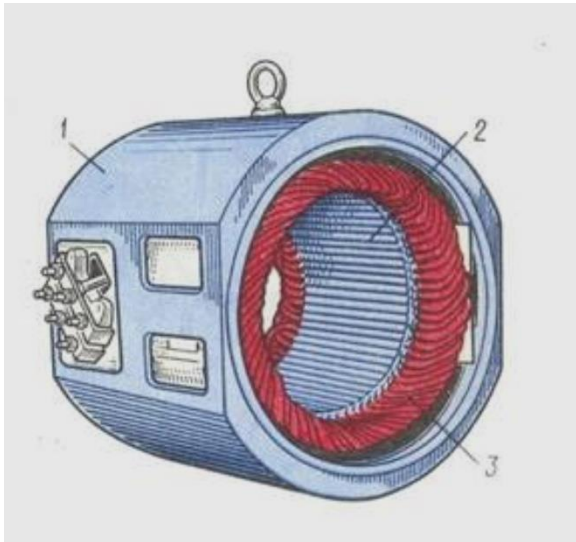


Рис. 2.1. Статор АД

зкладається трифазна обмотка. Обмотка статора виконується в основному з ізолюваного мідного дроту круглого або прямокутного перерізу, рідше - з алюмінію.

Обмотка статора складається з трьох окремих частин, які називаються фазами. Початки фаз позначаються буквами  $C1, C2, C3$ , кінців -  $C4, C5, C6$ .

Початки і кінці фаз виведені на клемник (рис. 2.2а), закріплений на станині. Обмотка статора може бути з'єднана за схемою зірка (рис. 2.2б), або трикутник (рис. 2.2в). Вибір схеми

з'єднання обмотки статора залежить від лінійної напруги мережі і паспортних даних двигуна.

У паспорті трифазного двигуна задаються лінійні напруги мережі і схема з'єднання обмотки статора. Наприклад, 380/220,  $Y / \Delta$ . Даний двигун можна включати в мережу з  $U = 380V$  за схемою зірка або в мережу з  $U = 220V$  - за схемою трикутник.

Основне призначення обмотки статора - створення в машині оберտального магнітного поля.

Сердечник ротора (рис. 2.3б) набирається з листів електротехнічної сталі, на зовнішній стороні яких є пази, в які закладається обмотка ротора. Обмотка ротора буває двох видів: короткозамкнена і фазна. Відповідно до цього

асинхронні двигуни бувають з КЗ ротором і фазним ротором (з контактними кільцями).

Короткозамкнена обмотка (рис. 2.3б) ротора складається зі стрижнів 3, які закладаються в пази сердечника ротора. З торців ці стрижні замикаються торцевими кільцями 4. Така обмотка нагадує "біляче колесо" і називають її типу "білячої клітки" (рис. 2.3а). Двигун з КЗ ротором не має рухомих контактів (рис. 2.4). За рахунок

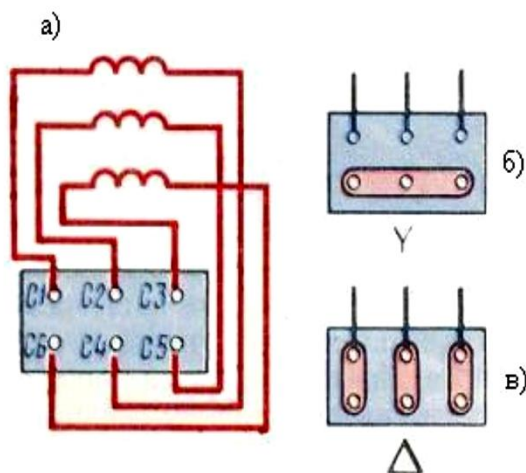


Рис. 2.2. Схема під'єднань обмоток статора до клемної колодки



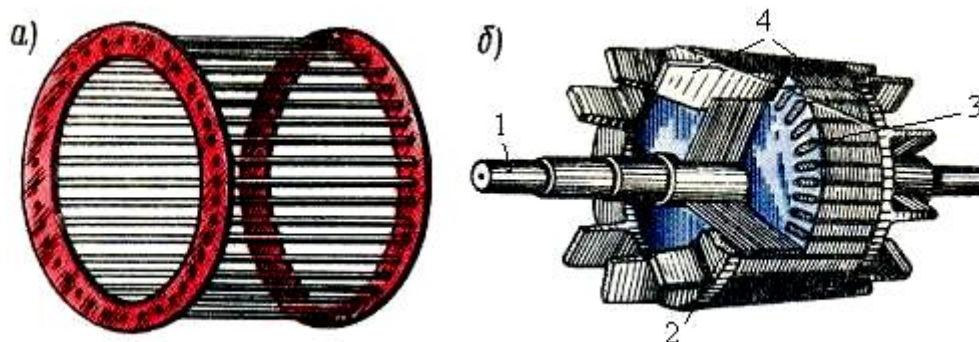


Рис. 2.3. Будова короткозамкненого ротора

цього такі двигуни мають високу надійність. КЗ обмотка ротора виконується з міді, алюмінію, латуні та інших струмопровідних матеріалів.

Ідея використання багатофазних і трифазних зокрема, принципів утворення оберտального магнітного поля, на основі чого і працюють багатофазні двигуни, належить визначному інженеру і талановитому винахідникові Ніколи Тесла (серб за походженням, працював і творив в США).

Першим в Росії створив АД з КЗ ротором Доліво-Добровольський (на рік пізніше від Ніколи Тесла) і дослідив його властивості. Він з'ясував, що у таких двигунів є дуже серйозний недолік - обмежений пусковий момент. Доліво-Добровольський назвав причину цього недоліку – малий опір обмотки ротора. Ним же була запропонована конструкція двигуна з фазним ротором.

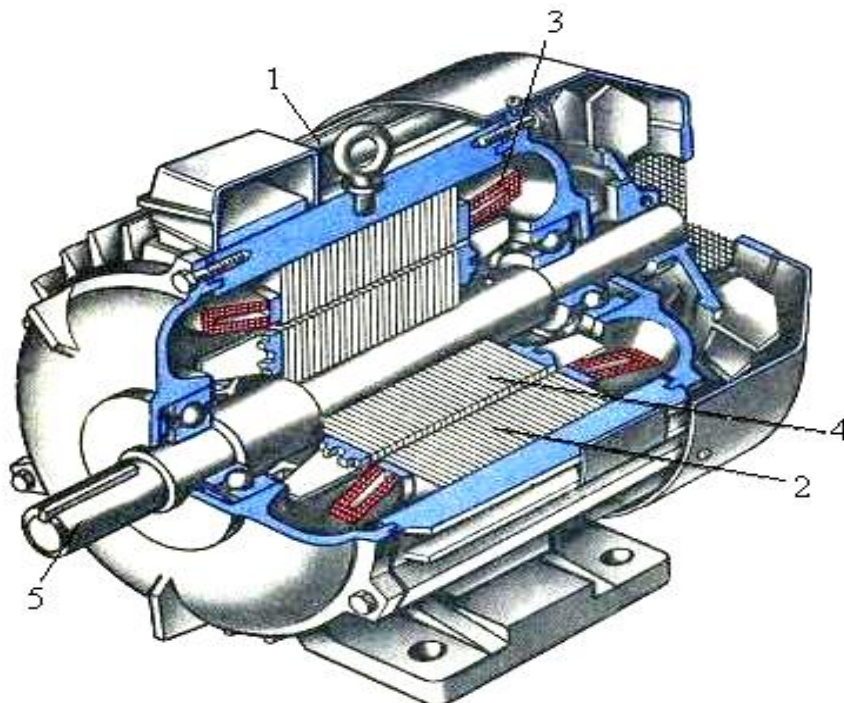


Рис. 2.4. Будова асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

1 – станина; 2 - сердечник статора; 3 - обмотка статора; 4 - сердечник ротора з короткозамкненою обмоткою; 5 - вал

На рис. 2.5 приведений вигляд асинхронної машини з фазним ротором в розрізі: 1 - станина, 2 - обмотка статора, 3 - ротор, 4 - контактні кільця, 5 – щітки.

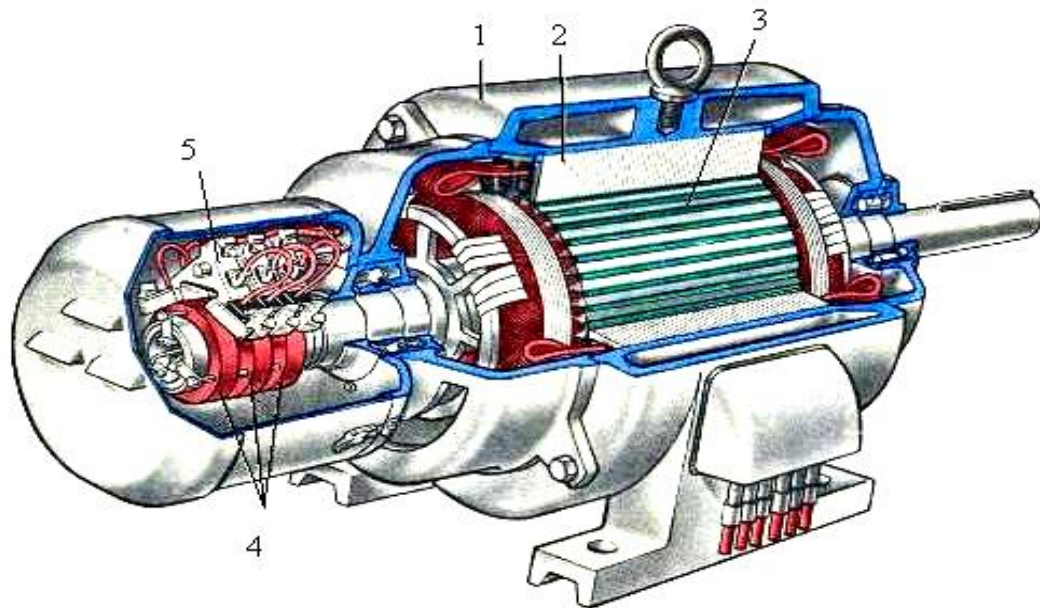


Рис. 2.5. Будова асинхронного двигуна з фазним ротором

У фазного ротора обмотка виконується трифазною, аналогічно обмотці статора, з тим же числом пар полюсів. Витки обмотки закладаються в пази сердечника ротора і з'єднуються за схемою зірка.

Кінці кожної фази з'єднуються з контактними кільцями, закріпленими на валу ротора, і через щітки виводяться в зовнішнє коло реостату. Контактні кільця виготовляють з латуні або сталі, вони повинні бути ізольовані один від одного і від валу. В якості матеріалу щіток використовують металографіт, щітки, які притискаються до контактних кілець за допомогою пружин щіткотримачів, закріплених нерухомо в корпусі машини. На рис. 2.6 наведено умовне позначення АД з КЗ (а) і фазним (б) ротором.

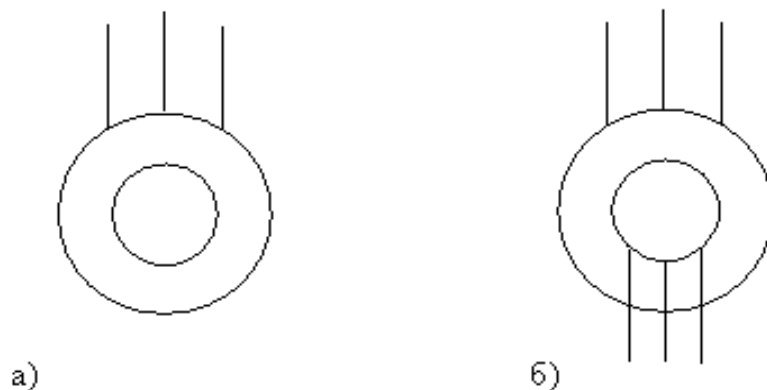


Рис. 2.6. Умовне позначення асинхронного двигуна з КЗ (а) і фазним (б) ротором

## 2.4 Методика визначення початків і кінців фаз статора при відсутності відповідного маркування виводів обмоток

Сукупність трьох фаз, розміщених в пазах магнітопровода статора утворює його трифазну обмотку з шістьма виводами

назовні, з яких 3, що відповідають початкам фаз, приєднані до клем з позначеннями  $C1, C2, C3$ , а останні, відповідають кінцям фаз, які з'єднані із клеммами, позначеними  $C4, C5, C6$ . Ці клеми розташовані в коробці виводів, укріпленій на корпусі машини (рис. 2.7).

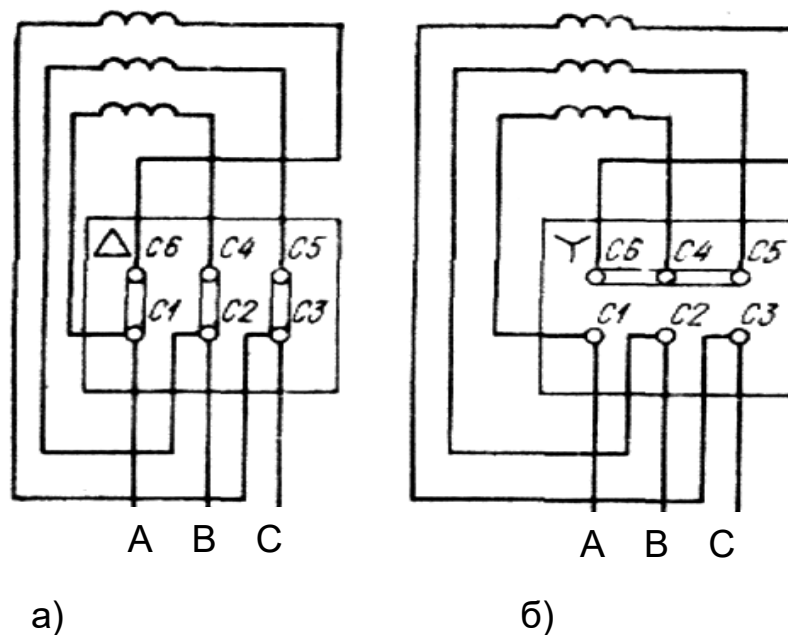


Рис. 2.7. Маркування затисків фаз обмотки статора трифазного асинхронного двигуна та їх з'єднання

Наявність шести доступних клем дозволяє з'єднувати окремі фази обмотки між собою металевими пластинами трикутником чи зіркою, що надає можливість використати один і той же двигун для двох різних лінійних напруг, відношення яких дорівнює  $\sqrt{3}$ .

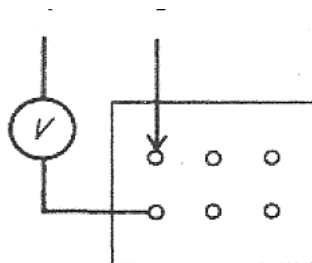


Рис. 2.8. Схема визначення затисків однієї з фаз обмотки статора.

У зв'язку з цим трифазні АД малої і середньої потужності виготовляють на такі дві номінальних напруги: 127/220, 220/380, 380/660 В. Потужні

високовольтні АД виготовляються на номінальну напругу 3000 і 6000 В, а фази обмотки статора їх зазвичай сполучають зіркою.

Якщо маркування клем фаз статора відсутнє, то розмітку їх виконують за допомогою вольтметра, який приєднують між одним з провідників мережі змінного струму, наприклад провідником *A*, і якою-небудь клемою, а інший провідник мережі *B* по черзі приєднують до решти клем до встановлення відхилення стрілки вольтметра.

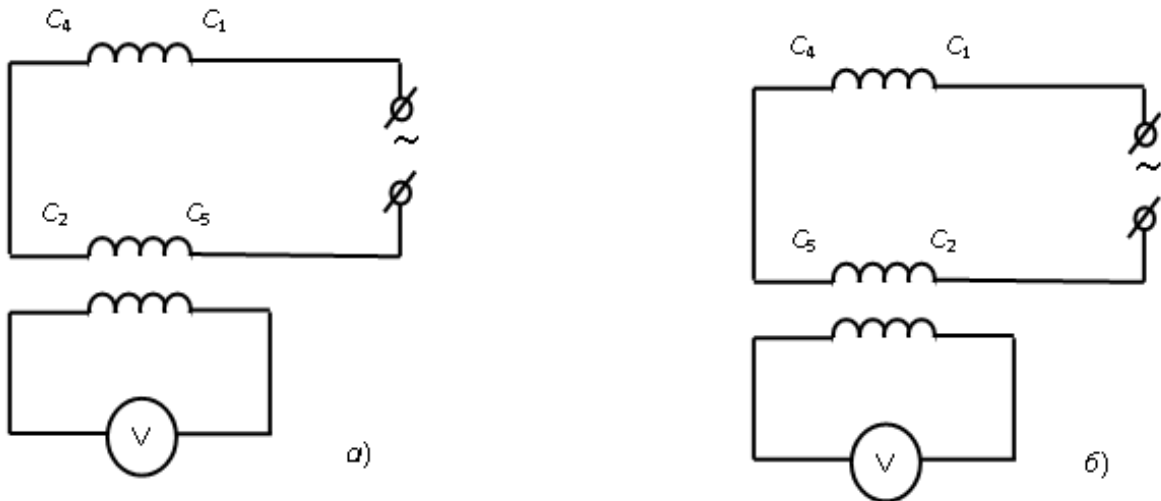


Рис. 2.9. Схема визначення початку і кінців однієї з фаз обмотки статора:  
*а* - стрілка вольтметра дає відхилення; *б* - стрілка вольтметра не дає відхилення

Так знаходять три пари виводів, обмотки статора, що відносяться до окремих фаз. Потім виводи однієї з фаз обмотки статора позначають *C1* і *C4*, сполучають її послідовно з іншою фазою через регулюючий реостат *R<sub>p</sub>* і приєднують до мережі змінного струму (рис. 2.9 *а*, *б*). До виводів вільної фази приєднують електромагнітний вольтметр. Якщо стрілка вольтметра дає відхилення, то затиск *C4* сполучений із виводом *C2*, а якщо такого відхилення немає, це означає, що вивід *C4* з'єднано із виводом *C5*. Аналогічно визначають виводи *C3* і *C6*.

## 2.5 Обладнання і прилади для виконання роботи

Асинхронний двигун, вольтметр, омметр.

## 2.6 Порядок виконання роботи

1. Вивчити будову АД і маркування виводів кінців фазних обмоток статора.
2. Визначити за вище наведеною методикою виводи початків і кінців фаз обмоток статора двигуна.

3. Проаналізувати і скласти схему включення обмоток статора за схемою "зірка" чи "трикутник" відповідно параметрів двигуна і мережі живлення.
4. Визначити частоту обертання двигуна теоретично за формулою  $n = \frac{60f}{p}$  і експериментально за допомогою тахометра.
5. З метою зменшення пускових струмів визначити можливість перемикання обмоток статора із зірки на трикутник і навпаки для даного двигуна і мережі живлення.
6. Оформити протокол лабораторної роботи.

## 2.7 Контрольні питання до роботи

1. У чому полягає відмінність АД з КЗ ротором від АД з фазним ротором.
2. За яких параметрів мережі асинхронний двигун можливо перемикає із зірки на трикутник?
3. Чи можна пояснити методику визначення початків і кінців фаз на прикладі трансформатора?
4. Як утворюється оберতальне магнітне поле?
5. Чи може швидкість ротора АД досягти частоти обертання магнітного поля статора?
6. Як можливо визначити затиски кожної з фаз обмотки статора за допомогою омметра (мультиметра, тестера)?
7. З якими елементами електричної схеми з'єднано обмотки фазного ротора АД?
8. Який ряд значень частоти обертання магнітного поля статора і від чого ця частота обертання залежить?
9. Чи можна очікувати однакову частоту обертання магнітного поля статора у двох довільних АД у яких кількість пар полюсів  $p$  однакова?
10. Чи можна очікувати однакову частоту обертання КЗ ротора у двох однакових АД в усталеному режимі без навантаження?
11. Які регулювальні можливості надає АД з фазним ротором і які апаратні засоби для цього потрібні?

## Лабораторна робота №3

### Реверсивний контакторний пуск асинхронного електродвигуна (АД) з короткозамкненим (КЗ) ротором і пристрої його реалізації

До роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, перевірку знань і вимог охорони праці та техніки безпеки.

#### 3.1 Мета роботи:

- Вивчити принципові схеми контакторного пуску асинхронного двигуна ротором безпосередньо від мережі живлення;
- Вивчити особливості роботи схеми пуску АД з КЗ ротором, принцип дії нульового захисту та блокувальних контактів;

#### 3.2 Основні відомості по темі

Електроприводи з живленням безпосередньо від мережі працюють в розімкнених системах регулювання, широко використовуються у всіх галузях промислового виробництва. Переважно це асинхронні двигуни з короткозамкненим (КЗ) чи фазним ротором. В таких системах використовують контактні чи безконтактні перемикаючі електричні апарати релейної дії. Для увімкнення і розімкнення силових ланцюгів використовують електромагнітні контактори або ж тиристорні комутатори. Останні використовуються за великої частоти циклів ввімкнення-вимкнення двигуна.

Для пуску двигуна відповідно схеми керування рис. 3.1 необхідно увімкнути вимикач QF і натиснути кнопку пуску SB1. Отримує живлення котушка контактора КМ, який своїми головними контактами підключає обмотки статора двигунам до мережі. Блок-контакт КМ шунтує кнопку "пуск", так що після її відпуску контактор КМ залишається включеним. Для відключення двигуна треба натиснути кнопку "стоп" SB2, після чого контактор КМ відключається. Захист від коротких замикань здійснюється - автоматичним вимикачем QF та плавкими запобіжниками FA.

Захист двигуна від струмів перевантаження здійснюється тепловим реле КК, контакти якого при спрацьовуванні розривають ланцюг котушки контактора. Повернення теплового реле після спрацьовування здійснюється натисненням наявної на нім кнопки. Захист від мимовільного включення

двигуна після зникнення напруги живлення реалізується блок-контактами КМ, що шунтують кнопку SB1.

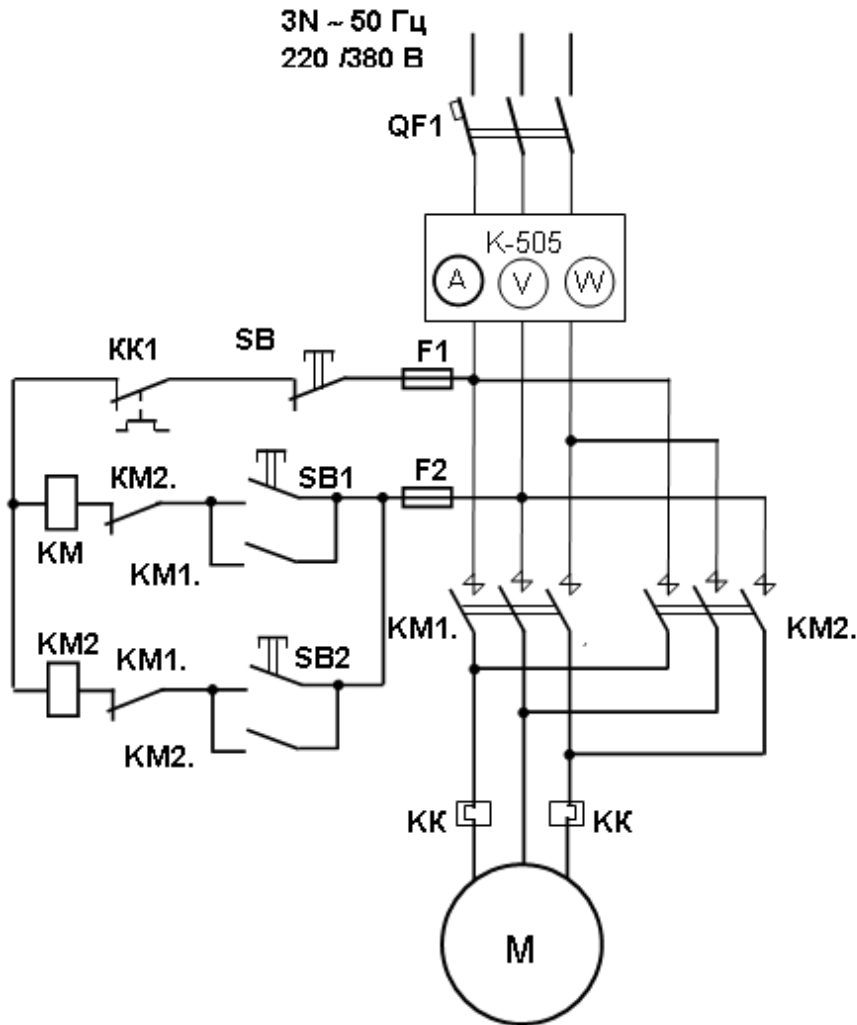


Рис. 3.1. Схема керування асинхронним двигуном за допомогою реверсивного магнітного пускача

У реверсивному пускачі (рис. 3.1) є два контактори КМ1 і КМ2, що підключають обмотки статора до мережі з різним порядком чергування фаз. Для запобігання одночасному увімкненню двох контакторів, що призведе до короткого замикання, передбачені механічне і електричне блокування (введенням нормально закритих блок-контактів в ланцюги котушки іншого контактора).

Логічні функції управління електроприводом відповідно до технологічного процесу реалізуються за допомогою електромагнітних і інших типів реле, контакти яких мають обмежену комутаційну здатність, зазвичай не більше 6А. У сучасних системах електроприводу з дискретним управлінням логічні функції реалізуються на програмованих контролерах з виходом на котушки контакторів.

Деякі технології вимагають, щоб процес зупинки електроприводу протікав інтенсивніше, ніж тільки під дією статичного моменту. В цьому випадку в схемах управління використовують різні види електричного гальмування - динамічне гальмування і гальмування протиувімкненням, а також механічне гальмування за допомогою електромагнітних гальм.

На рис. 3.2 наведена принципова схема нереверсивного електроприводу, яка дозволяє робити пуск і зупинку електродвигуна з динамічним гальмуванням.

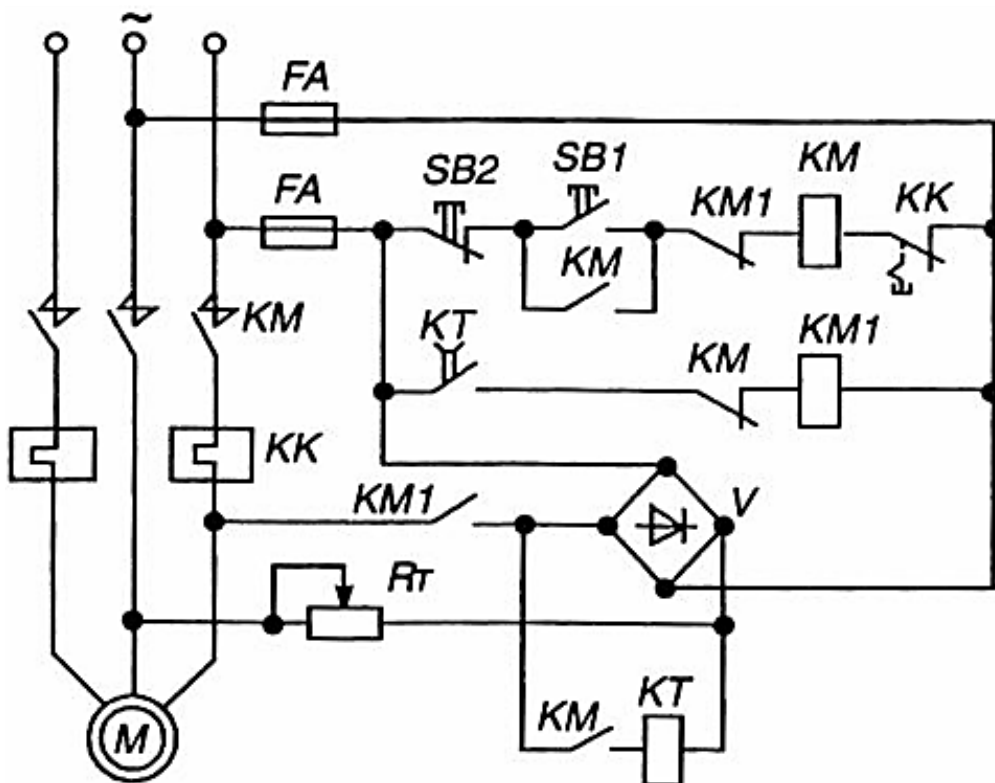


Рис. 3.2. Схема нереверсивного асинхронного електроприводу з електродинамічним гальмуванням.

Схема включає магнітний пускач КМ, кнопки управління SB1(Пуск), SB2 (Стоп), контактор електродинамічного гальмування КМ1, випрямляч V, що живить реле часу КТ, і реостат RT обмежуючий гальмівний струм статора. Запобіжники FA захищають ланцюги управління від коротких замикань.

Пуск АД здійснюється натисненням на кнопку SB1 (ПУСК). Контактор КМ включає головні контакти в ланцюзі статора АД, блокує пускову кнопку, відключає ланцюг контактора КМ1 і включає котушку реле КТ. Асинхронний двигун запускається в режимі прямого пуску.

Для зупинки АД натискають на кнопку SB2 (Стоп). Магнітний пускач відключається, відключивши статор від мережі змінного струму. Одночасно включається КМ1 і постійна напруга випрямляча подається в статор АД. Опір RT дозволяє регулювати величину струму динамічного гальмування і, тим



самим, інтенсивність гальмування. Час гальмування визначається установкою реле часу КТ. Після його закінчення контакт КТ з витримкою часу на відключення розмикає ланцюг КМ1, який відключається і відключає обмотку статора від випрямляча. Схема повертається в початковий стан.

### **3.3 Обладнання і прилади**

Асинхронний двигун з КЗ ротором, трифазні автоматичні вимикачі, магнітні пускачі, кнопки керування з нормально замкненими і нормально-розімкненими контактами, теплові реле захисту від перевантаження, джерело живлення постійного струму.

### **3.4 Порядок виконання роботи:**

1. Зібрати схему керування реверсивним пуском електроприводу лабораторної установки від асинхронного двигуна з КЗ ротором відповідно рис. 3.1.
2. Здійснити пуск асинхронного двигуна без навантаження на валу і записати покази приладів (напруга, струм, потужність) вимірювального комплексу К-505 в момент пуску, а також в усталеному режимі обертання.
3. Визначити кратність пускового струму по відношенню до номінального.
4. Визначити кратність струму під час реверсу двигуна до його номінального значення.
5. Вдосконалити схему керування асинхронним двигуном з метою забезпечення електродинамічного гальмування відповідно рис. 3.2.
6. Проаналізувати інтенсивність динамічного гальмування залежно від струму випрямляча.

### **3.5 Контрольні питання до лабораторної роботи:**

1. В чому полягає нульовий захист приводу і які методи його реалізації?
2. Як змінити напрям обертання АД ?
3. Які можна зробити висновки відносно пускових режимів роботи та режиму роботи під час зміни напрямку обертання валу двигуна.
4. Які можливо передбачити заходи по зменшенню пускових струмів асинхронного двигуна та під час його реверсу?
5. Чи можливо для динамічного гальмування АД для якого номінальне значення лінійної напруги 380 В стандартної частоти 50 Гц на обмотку фази статора подати постійну напругу 220 В? якщо ні, то чому?

6. Яких обмежень на величину напруги випрямляча необхідно дотримуватись і чому?
7. З якою метою в схемі рис.3.3 використовується реле часу?
8. Чим небезпечне одночасне ввімкнення контакторів КМ1 та КМ2 в схемі рис. 3.1?
9. Якими методами запобігається одночасне ввімкнення обох контакторів КМ1 та КМ2 в схемі рис. 3.1?

## Лабораторна робота №4

### Вивчення принципу дії та складання схеми автоматизованого електроприводу компресора

До роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, перевірку знань і вимог охорони праці та техніки безпеки.

#### 4.1 Мета роботи:

Вивчити особливості схеми автоматизованого керування компресором з використанням електроконтактного манометра та набути навичок складання електричної схеми, її налагодження та дослідження.

#### 4.2 Основні відомості по темі

На виробництві широко використовуються приводи, що отримують енергію від стисненого повітря, які мають назву пневмоприводів. Це, в першу чергу стосується вибухонебезпечних виробництв, виробничих середовищ з підвищеною вологістю, гірничо-видобувних підприємств. В машинобудуванні широко використовують пневматичні преси, штампи, ручний пневмоінструмент, пневмотранспорт і т. ін. Все це вимагає системи накопичення і подачі стисненого повітря задля чого створюють компресорні станції з автоматизованим електроприводом.

#### 4.3 Конструкція і принцип дії лабораторної установки автоматизованого приводу компресора

На рис. 4.1. наведена електрична схема автоматизованого компресора. Двигун М1 обертає механізм компресора, який нагнітає повітря в ресивер, з якого стисне повітря поступає споживачеві.

На ресивері встановлений електроконтактний манометр (ЕКМ), що являє собою пружинний, вимірювальний механізм якого пов'язаний з двома контактними групами S1 і S2. Стан контактів змінюється залежно від величини тиску  $P$ . Якщо тиск  $P$  нижчий, ніж  $P_{min}$ , то контакти S1 замкнені, якщо  $P$  перевищує  $P_{min}$ , то вони розмикаються.

Аналогічно діє і S2: при  $P < P_{max}$  S2 розімкнені, при  $P > P_{max}$  - замкнені. Якщо тиск в ресивері нижчий  $P_{min}$ , то замкнені контакти включають живлення котушки реле P1, контакти P1.2 якого, в свою чергу, включають живлення котушки магнітного контактора КМ1, який своєю контактною

групою КМ1.1 подає живлення на двигун компресора. Тиск повітря починає зростати. Коли тиск перевищує  $P_{min}$ , але залишається нижче  $P_{max}$ , двигун продовжує працювати за рахунок замкненого контакту самоблокування Р1.1. При досягненні тиском значення  $P_{max}$  замикаються контакти S2, спрацьовує реле Р2 і контактом Р2.1 розмикає ланцюг котушки Р1, двигун вимикається і залишається вимкненим, поки тиск не впаде нижче  $P_{min}$ . Потім увесь цикл повторюється.

Рис. 4.1. Електрична схема автоматизованого приводу компресора.

ЕКМ – електроконтактний манометр, Р1 - котушка реле пуску двигуна за мінімального тиску повітря, Р1.1 – контакти реле Р1, Р2 – котушка електромагнітного реле максимального тиску повітря, Р2.1 – контакти реле Р2, КМ1 – котушка електромагнітного пускача приводу двигуна, КМ1.1 – контактна група пускача КМ1, СВ – автоматичний вимикач, М1 – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором

На рис. 4.2 наведені діаграма циклів роботи компресора. У момент часу  $t_0$  компресор підключений до електричної мережі, і відразу ж починається підйом тиску (контакти S1 розімкнені, двигун працює), крива *a*. Після досягнення величини тиску значення  $P_{max}$  (момент часу  $t_2$ , контакт S2 замкнений), двигун відключається, і тиск починає знижуватися за рахунок витрати стислого повітря (крива *b*). При зниженні тиску до значення  $P_{min}$  цикл роботи компресора повторюється (крива *c*). Якщо живлення компресора буде відключено, то тиск знижуватиметься (за наявності витрати повітря) до нуля - крива *d*.

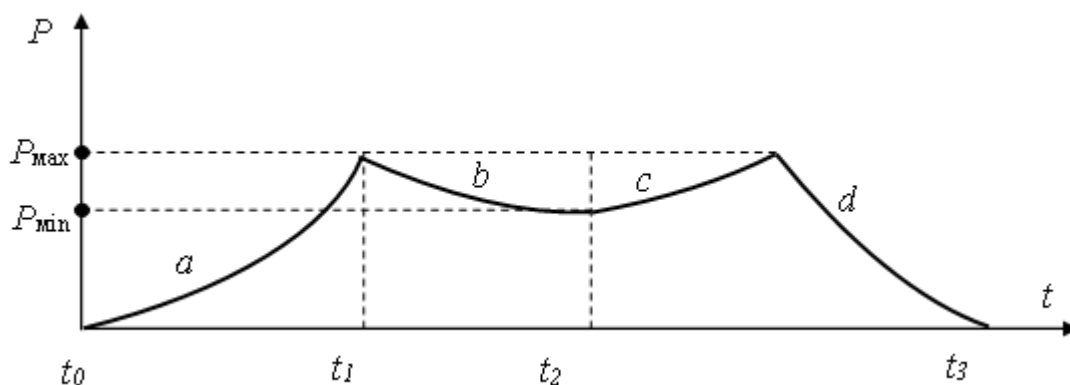


Рис. 4.2. Діаграма роботи компресора  $P = f(t)$

Аналогічною буде реакція автоматизованого компресора на інші збурення: зміни напруги мережі, знос елементів механічної частини компресора, коливання температури навколишнього повітря і атмосферного тиску.

Живлення котушок реле і магнітного контактору здійснюється фазною напругою 220 В. На двигун подається лінійна напруга 380 В. Захист електричної схеми живлення двигуна від струмів короткого замикання та перевантаження здійснюється автоматичним вимикачем SB. З метою підвищення надійності захисту двигуна від наднормативних струмів в схемі використано також теплове реле КК1, контакти КК1. при спрацюванні розривають ланцюг живлення котушки магнітного контактора КМ 1 і двигун при цьому вимикається.

Необхідно здійснювати періодичний контроль за станом запобіжного клапану, який повинен сполучати внутрішній об'єм ресиверу з атмосферою по досягненню тиску, що перевищує максимальне значення на 10%, тобто коли  $P = 1,1 P_{max}$ .

Для запуску компресора в дію достатньо увімкнути автоматичний вимикач SB.

#### 4.4 Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему (рис. 4.1) автоматизованого електроприводу компресора з використанням електроконтактного манометра.
2. Перевірити працездатність схеми керування компресором, для чого зробити 3 експериментальних пуски з відповідними налаштування електродатного манометра для підтримування тиску повітря в межах:  $\Delta P_1 = 0.2 - 0.3$  МПа;  $\Delta P_1 = 0.3 - 0.4$  МПа;  $\Delta P_1 = 0.2 - 0.4$  МПа.
3. Побудувати діаграму роботи компресора для заданої інтенсивності витрати повітря.
4. Зробити висновки по роботі.

#### 4.5 Контрольні питання по лабораторній роботі

1. Якою буде поведінка агрегату (рис. 4.1), якщо під час роботи двигуна станеться короткочасна пропажа напруги живлення 380 В?
2. Що зміниться в поведінці агрегату (рис. 4.1), якщо станеться обрив ланцюга котушки реле  $P_1$  ?
3. Що зміниться в поведінці агрегату (рис. 4.1), якщо станеться обрив ланцюга котушки реле  $P_2$  ?
4. Що зміниться в поведінці агрегату (рис. 4.1), якщо станеться обрив ланцюга фази А,В чи С ?
5. Якою буде поведінка агрегату (рис. 4.1), якщо не спрацюють контакти Р1.1 внаслідок їх підгоряння?

6. Які фактори впливають на час  $t_1$ ,  $t_2$  ?
7. Які причини можуть зумовити роботу компресора протягом тривалого часу без зупинки?
8. Чому нагрівальні елементи теплового реле (рис. 4.1) установлені тільки в двох лініях підключення двигуна, адже струм протікає по усіх трьох провідниках ?

## Лабораторна робота №5

### Дослідження характеристик трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

До роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, перевірку знань і вимог охорони праці та техніки безпеки.

#### 5.1 Мета роботи

Дослідити електричні і механічні властивості трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

#### 5.2 Основні відомості по темі

Через простоту конструкції, низьку вартість і високу надійність, асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором є наймасовішими електродвигунами. Принцип дії асинхронних машин заснований на створенні почерговим наведенням струму у обмотках статора обертового магнітного поля, синхронна частота обертання  $n_c$  якого визначається за формулою:

$$n_c = \frac{60f}{p}, \quad (5.1)$$

де  $f$  – частота струму в мережі  $f = 50$  Гц ( в США і деяких інших країнах  $f = 60$  Гц);

$p$  – число пар полюсів обмотки статора ( $p = 1, 2, 3, 4, \dots k$ ).

З формули (5.1) маємо ряд можливих синхронних частот обертання магнітного поля статора:

$$n_c = 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 \dots \text{хв}^{-1}.$$

Обертове магнітне поле статора взаємодіє з обмоткою ротора і в результаті викликає струм в роторі. Останній створює вторинне магнітне поле ротора, яке в результаті взаємодії з полем статора примушує ротор обертатись. При цьому частота обертання ротора асинхронного двигуна  $n_n$  менше частоти обертання магнітного поля машини  $n_c$  на величину швидкості ковзання  $s_n$ :

$$s_n = \frac{n_c - n_n}{n_c} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

Звідки маємо можливість визначити номінальну частоту обертання ротора двигуна

$$n_n = n_c \left(1 - \frac{s_n}{100}\right). \quad (5.3)$$

Необхідно зауважити, обертальний момент, що примушує ротор двигуна обертатись виникає за умови перетину магнітними силовими лініями статора обмотки ротора, звідси стає зрозумілим, що ротор буде завжди відставати від магнітного поля статора і ступінь відставання визначається величиною навантаження двигуна (гальмівного моменту на валу ротора).

Асинхронний двигун є симетричним навантаженням трифазної мережі і загальну активну споживану потужність можна визначити, знаючи споживану потужність в одній із фаз:

$$P = 3P_{\phi}. \quad (5.4)$$

Механічна потужність на валу двигуна (швидкохідному валу редуктора)

$$P_1 = M_1 \omega_1, \quad (5.5)$$

де  $M_1$  — обертальний момент двигуна;

$\omega_1$  — кутова швидкість валу двигуна.

Тоді маємо можливість визначити ККД двигуна:

$$\eta_d = \frac{P_1}{P}. \quad (5.6)$$

У лабораторній установці в якості механічного навантаження двигуна використовується колодкове гальмо, що встановлене на тихохідному валу редуктора і створює гальмівний момент  $M_2$ . Тоді потужність на тихохідному валу редуктора, що розсіюється на гальмі:

$$P_2 = M_2 \omega_2, \quad (5.7)$$

Враховуючи, що кутова швидкість гальмівного шківів (тихохідного валу редуктора)  $\omega_2 = \frac{\omega_1}{i_p}$  визначаємо ККД редуктора:

$$\eta_p = \frac{P_2}{P_1}. \quad (5.8)$$

### 5.3 Конструкція і принцип дії лабораторної установки

Лабораторна установка ТММ-39К, (рис.5.1) складається зі збалансованого електродвигуна 1, черв'ячного редуктора 2, пружної втулково-пальцевої муфти 3, яка сполучає вали електродвигуна і черв'ячного редуктора, і гальмівного пристрою 4, змонтованих на загальній рамі 7.

В установці використано асинхронний двигун з КЗ-ротором АО31-4,  $n_c = 1500 \text{ хв}^{-1}$ , потужність  $P = 0,6 \text{ кВт}$ .



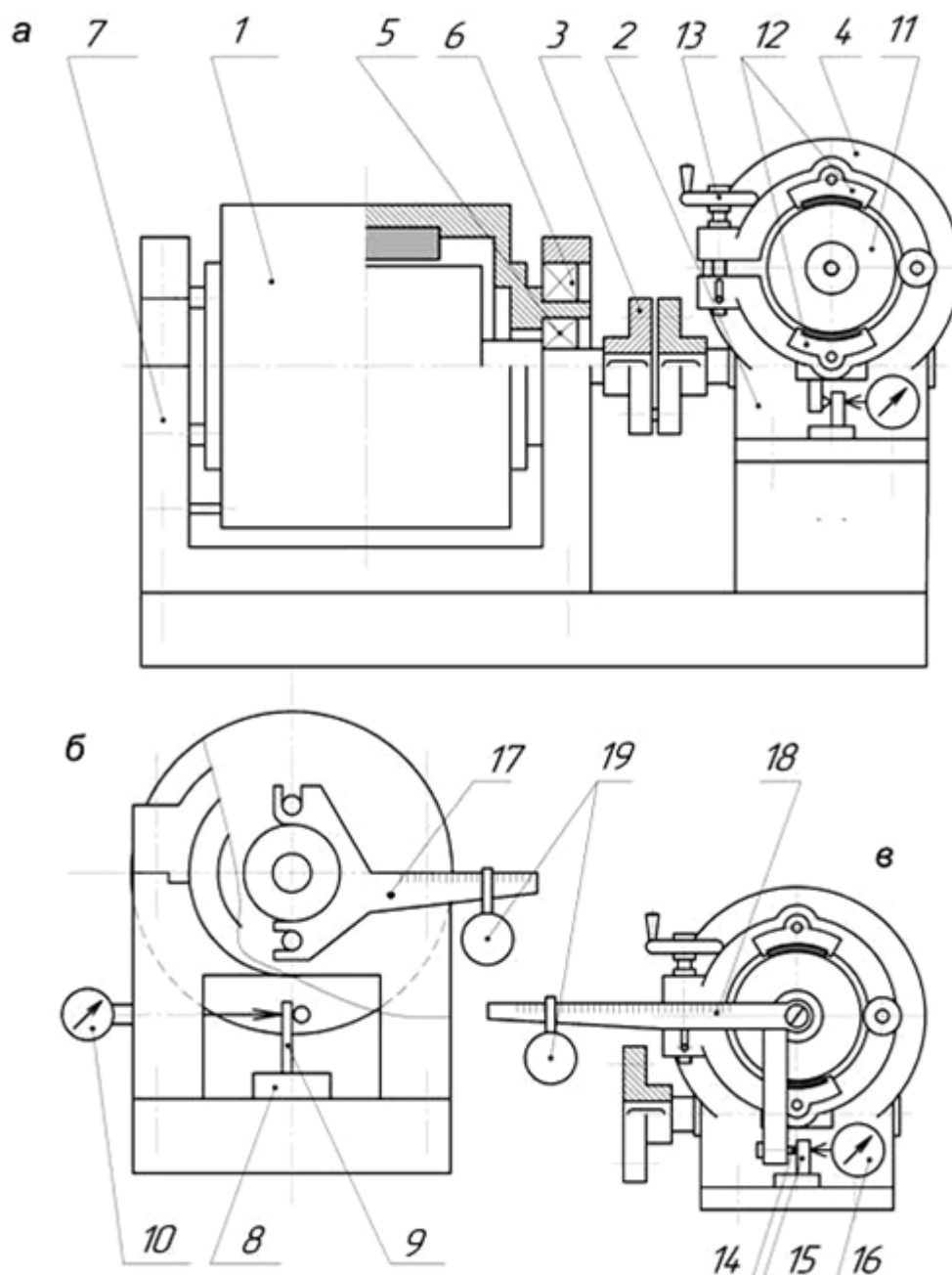


Рис. 5.1. Схема лабораторної установки

Вал ротора електродвигуна може обертатися в підшипниках кочення 5, встановлених у статорі, корпус якого, у свою чергу, може обертатися в підшипниках кочення 6, встановлених на рамі установки 7. Якщо знехтувати опором руху в підшипниках кочення, як ротор, так і статор можуть обертатися в результаті електромагнітної взаємодії в протилежних напрямках залежно від моменту опору обертанню, прикладеному до кожного з них.

Обертання статора перешкоджає динамометричний пристрій 8 (рис.5.1, в), в пружну пластину якого упирається штифт, закріплений на задній плиті статора електродвигуна. Так, якщо до веденого валу редуктора прикладений момент опору  $T_2$ , викликаний гальмівним пристроєм 4, то по величині

деформації пружної пластини можна судити про величину реактивного моменту  $M_1$ , що відповідає обертальному моменту електродвигуна. Для вимірювання величини реактивного моменту на пружній пластині наклеєні тензометричні датчики, які з'єднані в схему напівмоста і під'єднані до тензопідсилювача.

Гальмівний пристрій 4 призначено для створення моменту опору обертанню  $M_2$  на вихідному (тихохідному) валу редуктора. Пристрій імітує робоче навантаження.

При пуску електродвигуна обертання ротора передається через муфту і черв'ячну передачу гальмівному шківу 11. Між шківом і гальмівними колодками 12 в результаті зближення важелів гальмівного пристрою за допомогою гвинтового механізму 13 виникають сили тертя, що створюють момент сил опору  $M_2$ . Цей момент через призму 14, встановлену на важелі гальмівного пристрою, передається на динамометричну пластину 15. По величині деформації пластини (в межах пружних деформацій відповідних закону Гука) і, знаючи її тарувальну характеристику, можна судити про величину обертового моменту  $M_2$ , на вихідному валу редуктора.

#### **5.4 Складання вимірювальної схеми запису і реєстрації сигналів датчиків**

Для отримання даних з тензопідсилювача використовується тензопідсилювач ZET 017-T8 (рис.5.2, рис.5.3), який може одночасно оброблювати дані з 8 тензодатчиків з побудовою графіків на ПК.

Застосовуємо схему наведену на рис.5.4. Тензометричні датчики моменту двигуна ДМД та гальмівного моменту ДГМ, що з'єднані в схему напівмосту екранованим кабелем під'єднують до входу тензопідсилювача ТП в якості якого використовується вісьмиканальний підсилювач ZET 017-T8. Для датчика ДМД використовуємо канал 1, для датчика ДГМ канал 2. Датчик кутової координати валу двигуна індуктивного типу під'єднують до каналу 3 тензопідсилювача. Так само безпосередньо до ТП під'єднують вихід фільтра сигналу споживаного двигуном струму до каналу 4. Екрани кабелів та тензопідсилювач повинні бути заземлені.

Оцифровані сигнали датчиків по USB-кабелю подаються на вхід персонального комп'ютера.

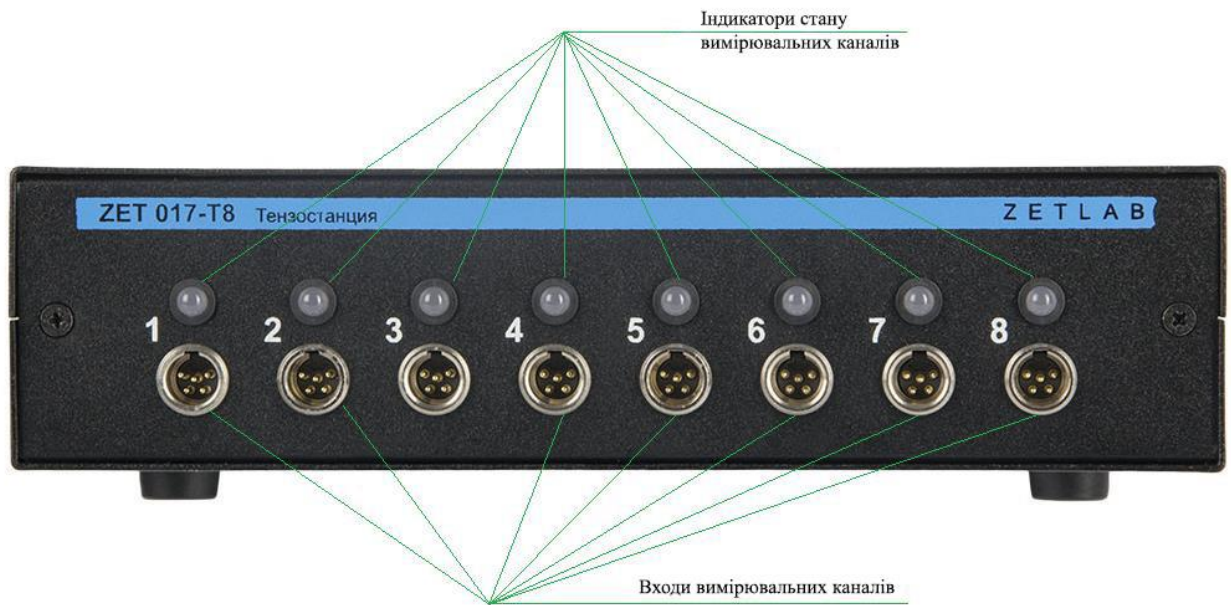


Рис. 5.2. Лицьова панель тензостанції ZET 017-T8

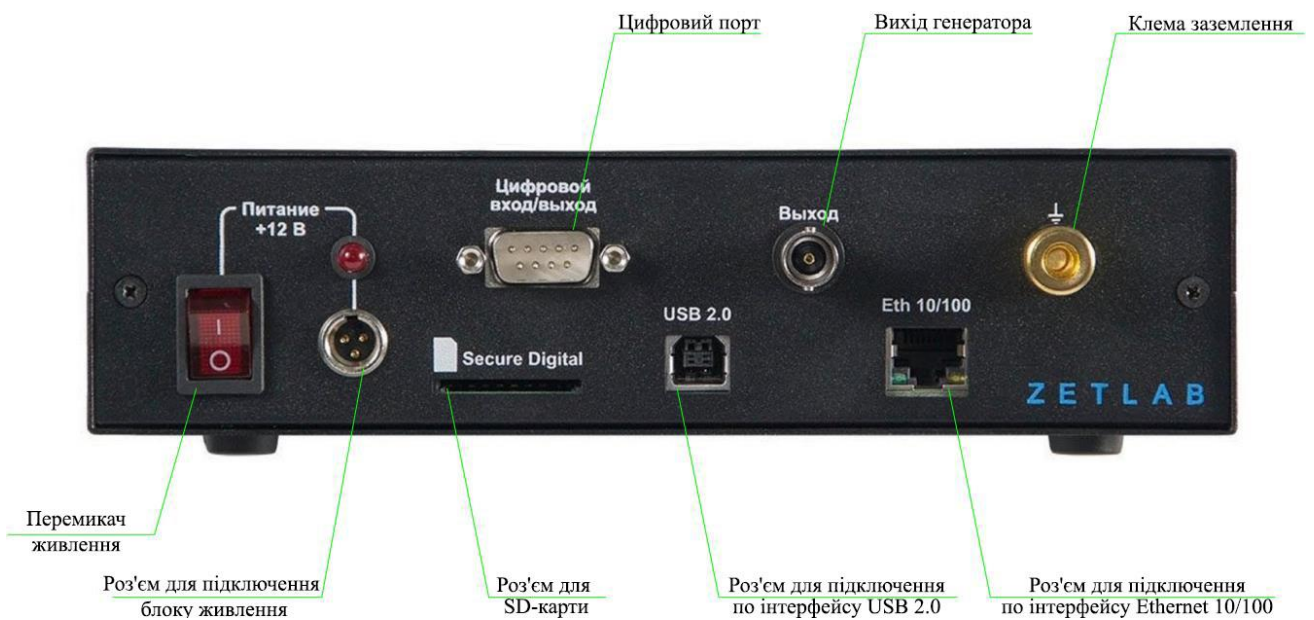


Рис. 5.3. Задня панель тензостанції ZET 017-T8

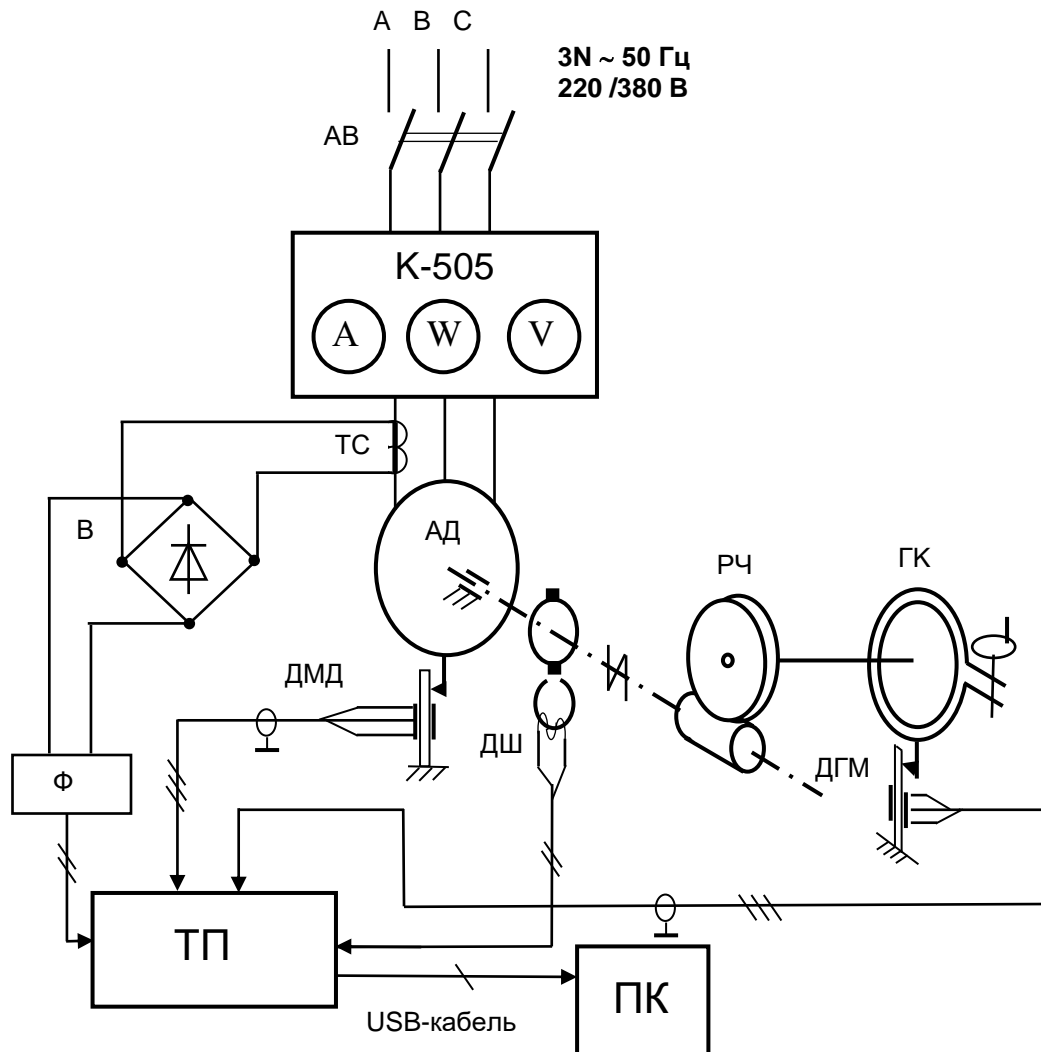


Рис. 5.4. Схема електричних з'єднань лабораторної установки.

АВ – автоматичний вимикач; К-505 – комплект вимірювальних приладів (амперметр, ватметр, вольтметр); АД – асинхронний двигун; ДМД – датчик моменту двигуна; ДШ – датчик кутової швидкості валу двигуна; ДГМ – датчик гальмівного моменту; ТС – трансформатор струму; Ф – фільтр; ТП – тензопідсилювач; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ПК – персональний комп'ютер

## 5.5 Налаштування програмного середовища ZETlab

1. Запустити панель управління ZETLAB, активувавши «іконку» ZETLAB, розташовану на робочому столі Windows. У верхній частині екрана відкриється панель керування ZETLAB рис.5.5.

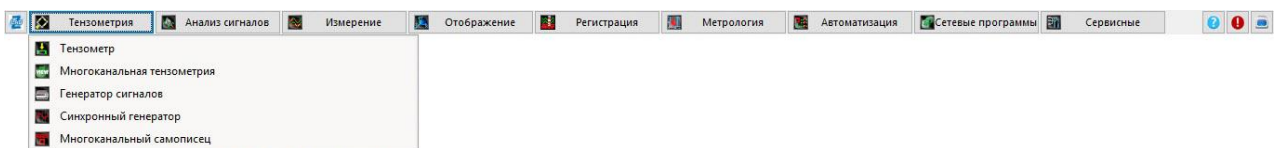


Рис. 5.5. Панель керування ZETLAB

- Для живлення підключеного до датчика, необхідно запустити програму "Генератор сигналів" з меню "Тензометрія" панелі управління ZETLAB. У вікні програми «Генератор сигналів», що відкрилося, перейти на вкладку «Синус», де встановити наступні параметри живлення датчика: «Частота» – 50 Гц, «Рівень» – 0 В, «Зміщення» – 5 В. Після чого у вікні програми «Генератор сигналів» натиснути кнопки «Добавить» та «Включить» (рис.5.6).

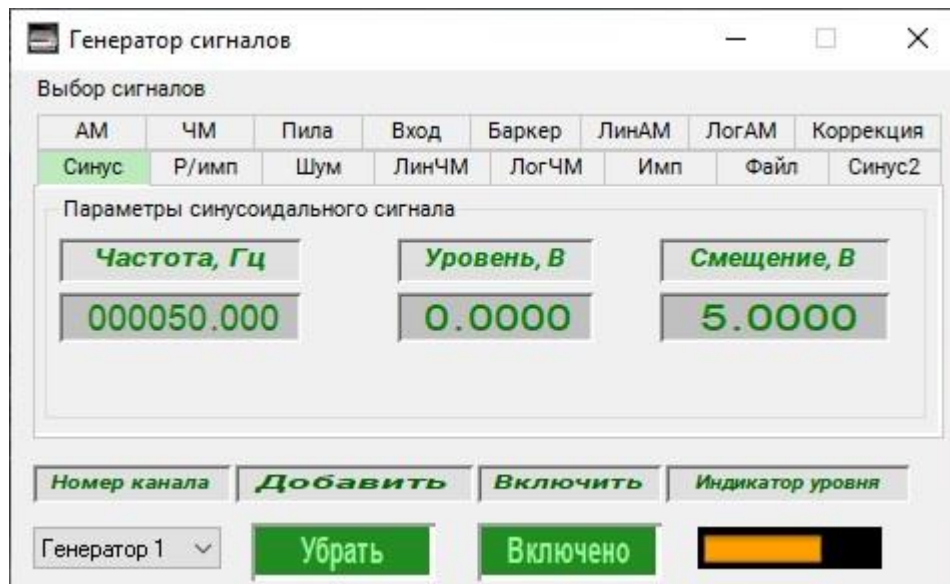


Рис. 5.6. Робоче вікно програми «Генератор сигналів»

- Запустити програму "Тензометр" з меню "Тензометрія" панелі керування ZETLAB. У програмі «Тензометр» натиснути кнопку «Параметри» і у вікні «Налаштування параметрів тензометра» вибрати тип датчика «Тензорезистор», Тип живлення встановити на постійний струм. У розділі «Канали» встановити 4 вимірювальних канали. Опорний канал встановити на «Генератор 1». Обрати початковий коефіцієнт підсилення через підменю «Настройка», наприклад 1000. Після внесення всіх налаштувань натиснути кнопку «Применить» (рис.5.7).
- Зробити скидання показань програми «Тензометр» у «0» або будь-яке інше значення щодо якого слід проводити вимірювання. Для цього у вікні програми «Тензометр» (рис.5.8) слід натиснути кнопку «Сброс в», попередньо встановивши в полі відповідне значення.

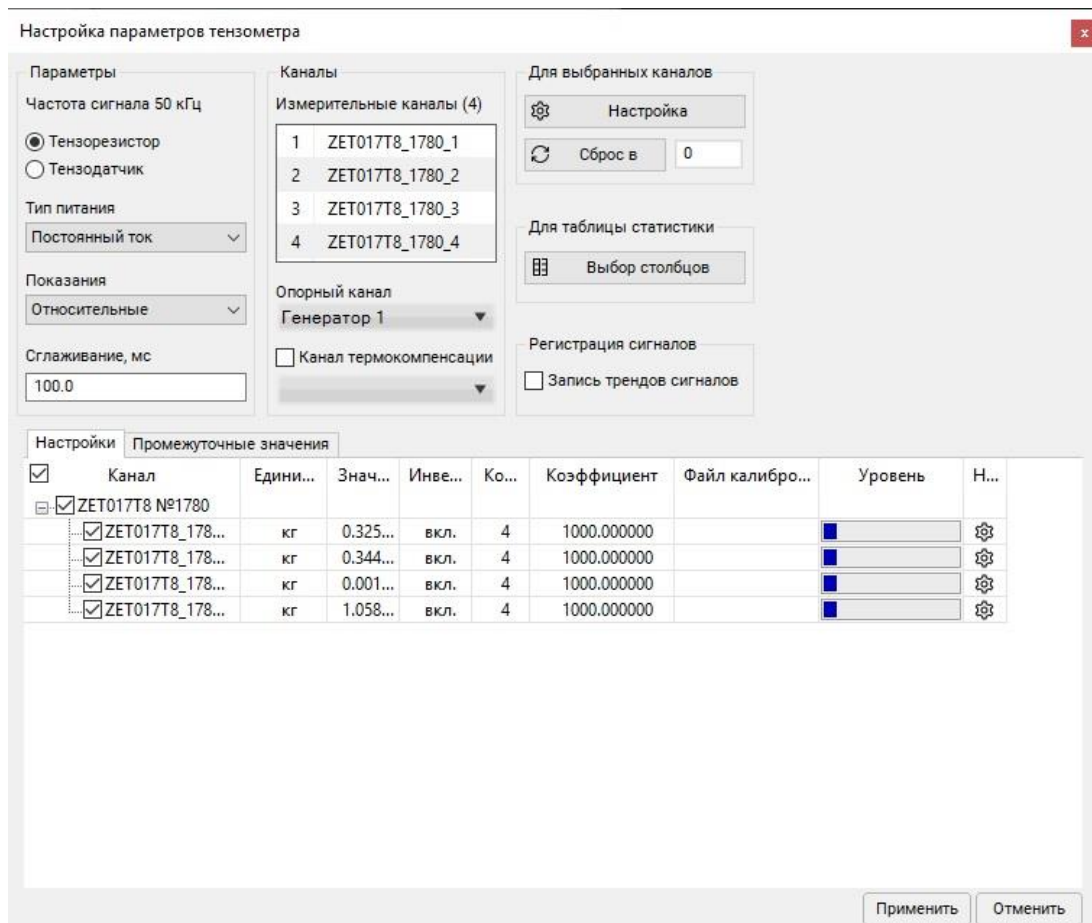


Рис. 5.7. Рабочее окно программы «Настройка параметров тензометра»

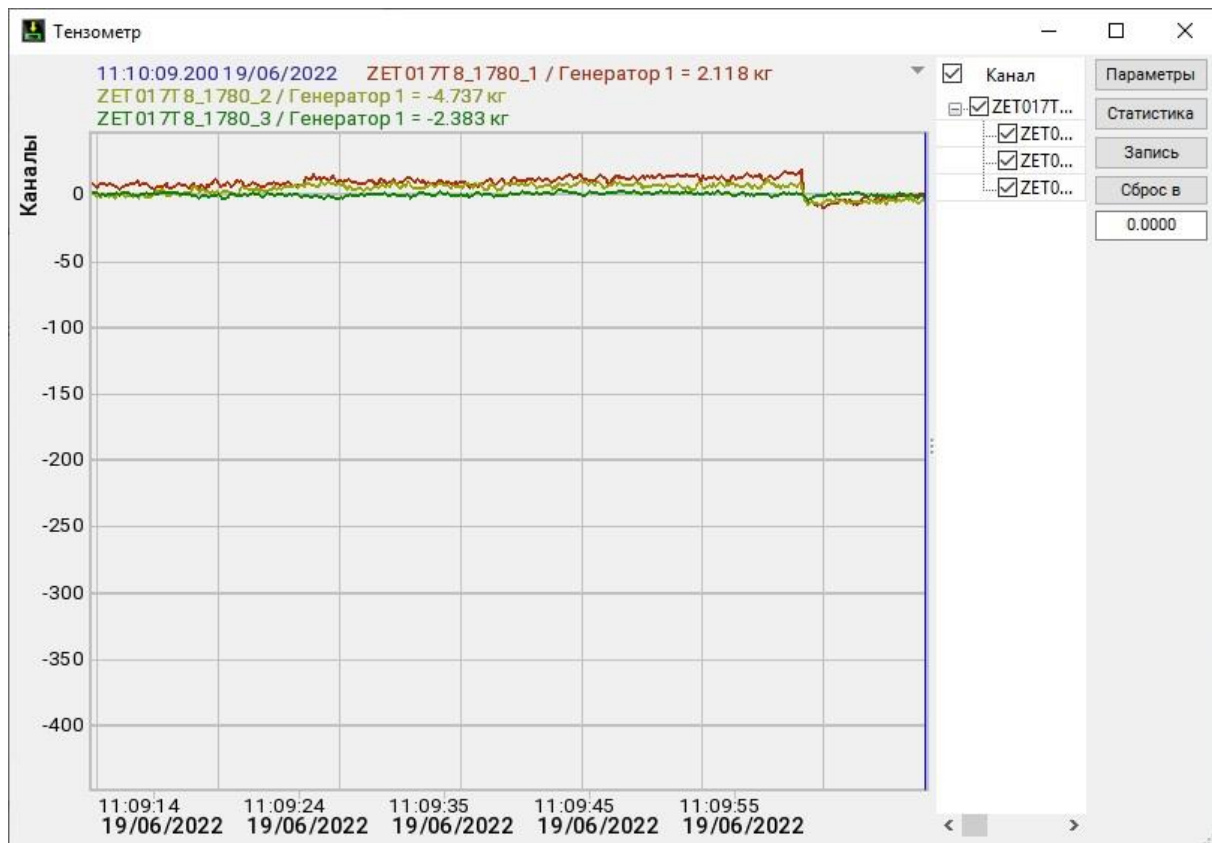


Рис. 5.8. Рабочее окно программы «Тензометр»

## 5.6 Визначення тарувальних характеристик динамометричних пластин установки

Для визначення тарувального коефіцієнту динамометричної пластини реактивного моменту електродвигуна, на статор встановлюється лінійка 17 (рис.5.1 б), на яку в 5 точках послідовно підвішується вантаж 19 масою  $m = 2$  кг.

Для визначення моменту, що створює вантаж на вал двигуна, необхідно скористатися формулою

$$M_i = mgl, \quad (5.9)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння;

$l$  – відстань від осі ротора двигуна до точки підвішування вантажу, м.

У робочому вікні програми «Тензометр» реєструють поточне відображене на обраному каналі  $V_i$ .

Визначають поточне значення тарувального коефіцієнта  $k_{1i}$

$$k_{1i} = \frac{M_{1i}}{V_{1i}}. \quad (5.10)$$

Повторюють визначення тарувального коефіцієнта 5 разів, та визначають його середнє значення

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^n k_{1i}}{n_1} \quad (5.11)$$

де  $n_1$  – кількість вимірювань.

**Примітка.** Значення коефіцієнтів, що різко відрізняються від інших (через випадкові чинники), слід виключити або повторити дослід при тому ж рівні навантаження.

Аналогічно проводиться визначення тарувального коефіцієнту  $k_1$  динамометричної пластини 15 гальмівного пристрою (рис. 5.1, в), для цього лінійка 18 за допомогою гвинта з надітим на нього підшипником встановлюється на вал гальмівного шківa.

В результаті вносять зміни до налаштування відповідного каналу тензопідсилювача у вікні «Налаштування параметрів тензометра». Для зміни коефіцієнту підсилення, необхідно поставити галочку напроти відповідного каналу та натиснути кнопку «Налаштування». Новий коефіцієнт  $k_d$  визначається за формулою

$$k_d = k_i k_{\Pi} \quad (5.12)$$

де  $k_1$  – тарувальний коефіцієнт обраного каналу;

$k_{\Pi}$  – Попередні коефіцієнт підсилення обраного каналу.

## 5.7 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з лабораторним стендом, асинхронним двигуном і вимірювальними приладами. Записати їх паспортні дані.
2. Зібрати електричну схему живлення асинхронного двигуна та вимірювальних пристроїв (рис.5.4) і показати її для перевірки викладачеві, для вимірювання споживаної двигуном сили струму, потужності і напруги доцільно використати комплект приладів К-505.
3. Підготувати тензостанцію для реєстрації 4 датчиків.
4. Виконати тарування датчиків реактивного моменту двигуна та гальмівного моменту колодкового гальма. Внести відповідні налаштування в налаштування тензостанції.
5. Записати 3-4 осцилограми в режимі навантаження двигуна гальмом.
6. Виконати розшифровку отриманих осцилограм.
7. Побудувати механічну  $n_{дв} = f(M)$  та електромеханічну характеристику двигуна  $I_{дв} = f(M)$ .
8. Сформулювати висновки по роботі.

## 5.8 Контрольні питання

1. У чому полягає принцип дії трифазного асинхронного двигуна?
2. Які види асинхронних двигунів Ви знаєте?
3. Як впливає зміна напруги на момент асинхронного двигуна?
4. Вкажіть способи регулювання частоти обертання асинхронних двигунів.
5. Що таке номінальне і критичне ковзання?
6. Чим визначається перевантажувальна здатність асинхронного двигуна?
7. Які переваги і недоліки асинхронних двигунів?



## Лабораторна робота №6

### Дослідження характеристик асинхронного двигуна з використанням частотного перетворювача

До роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, перевірку знань і вимог охорони праці та техніки безпеки.

#### 6.1 Мета роботи:

- Отримання механічних характеристик асинхронного двигуна на понижених від 50 Гц частотах живлення;
- Отримання механічних характеристик асинхронного двигуна в режимі рекуперативного гальмування;
- Отримання механічних характеристик асинхронного двигуна в режимі електродинамічного гальмування;
- Дослідження асинхронного двигуна в режимі противключення.

#### 6.2 Основні відомості по темі

Найефективнішим і найпоширенішим серед асинхронних електроприводів є частотно-регульований електропривід на основі перетворювача частоти з проміжною ланкою постійного струму.

Важливим залишається питання навантажувальної здатності асинхронного двигуна під час його роботи на знижених від 50 Гц частотах живлення, що є однією із задач лабораторної роботи.

В процесі проведення дослідження персональний комп'ютер використовується як засіб збирання і обробки інформації, тому технічні характеристики ПК (тактова частота процесора, обсяг оперативної пам'яті та дискового простору, відеоадаптер) мусять мати відповідні показники для забезпечення якісної без спотворень реєстрації сигналів датчиків механічних та електричних величин в режимі реального часу.

#### 6.3 Конструкція і принцип дії лабораторної установки

Дослідження проводиться на уніфікованій лабораторній установці, рис. 6.1. Установка обладнана трьома електродвигунами, два з яких М1, М2 – асинхронні з короткозамкненим ротором: АО31 - 8,  $n_c = 750 \text{ хв}^{-1}$ , потужністю  $P = 0,75 \text{ кВт}$ , один двигун М3 постійного струму  $P = 0,5 \text{ кВт}$ ,  $U_n = 220 \text{ В}$ . Двигуни з'єднані між собою, а також з швидкохідним валом

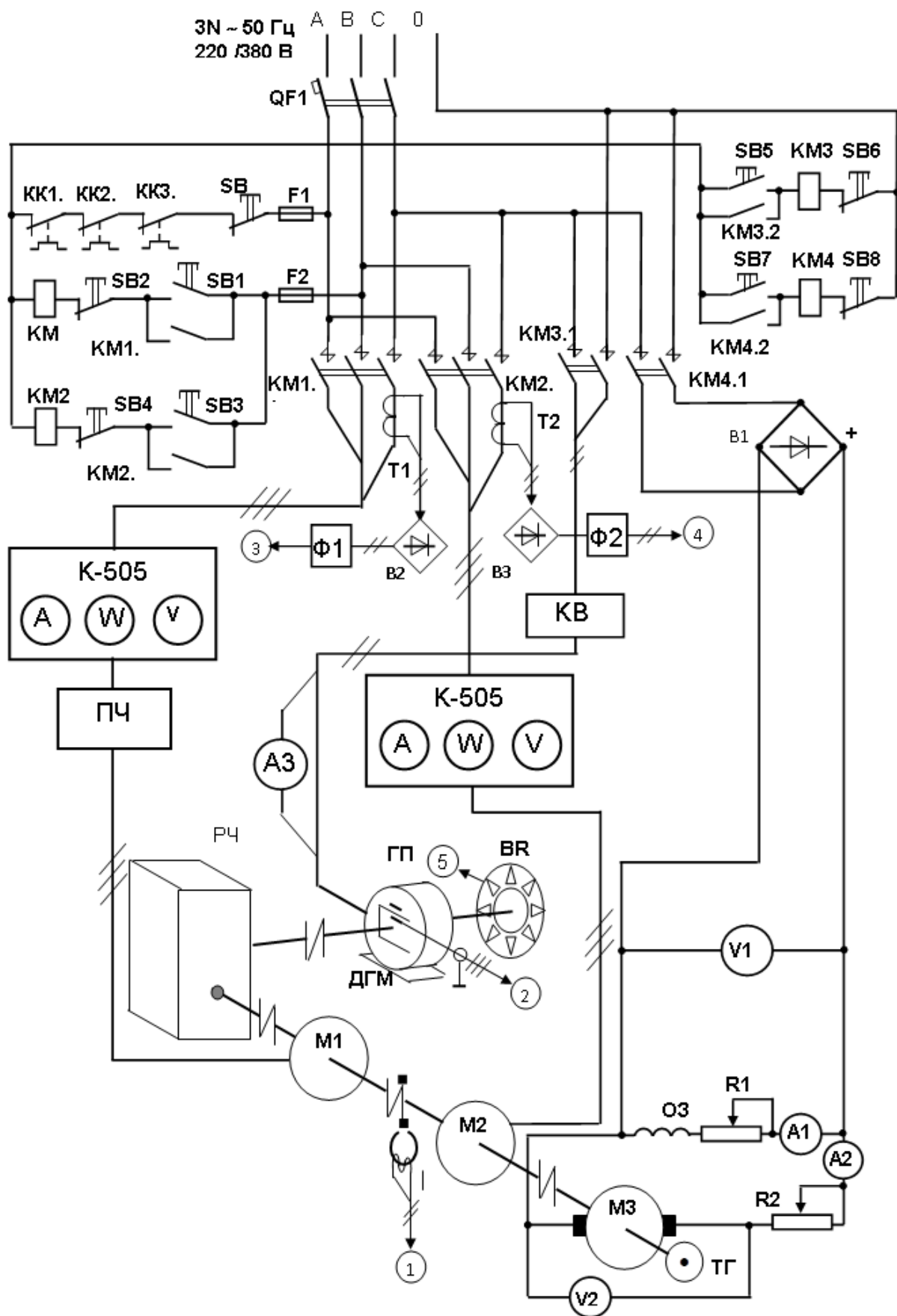


Рис. 6.1. Зовнішній вигляд лабораторної установки

черв'ячного редуктора втулково-пальцевими муфтами (передаточне число редуктора  $i=28$ ). Тихохідний вал редуктора з'єднано такою ж муфтою з гальмівним пристроєм порошкового типу ПТ-4М. Зміна величини навантаження здійснюється зміною напруги живлення обмоток статора порошкового гальма, яка може бути встановлена на керованому випрямлячі КВ від 0 до 12 В за паралельного з'єднання та від 0 до 24 В - за умови послідовного з'єднання обмоток гальма .

Для зміни частоти живлення двигуна використовується трифазний перетворювач частоти ПЧ Danfoss серії VLT 5005 максимальна вихідна потужність якого 3 кВт.

На схемі установки застосовані умовні позначення: QF1 – автоматичний вимикач живлення всієї установки; КК1.1, КК2.1, КК3.1 - контакти теплових реле живлення двигунів М1, М2, М3; SB – кнопковий розмикаючий вимикач (загальний "СТОП"); SB1, SB3, SB7 - замикаючі кнопкові вимикачі пуску двигунів; SB2, SB4, SB8 - розмикаючі кнопкові вимикачі двигунів; SB5 - замикаюча кнопка ввімкнення живлення керованого випрямляча КВ; SB6 - розмикаюча кнопка вимикача керованого випрямляча КВ; В1 - випрямляч живлення двигуна М3; В2, В3 - випрямлячі трансформаторів струму Т1, Т2; Ф1, Ф2 фільтри ланцюгів вимірювання сили струму; КМ1, ... КМ6 - котушки магнітних пускачів; КМ1.1, КМ2.1 - контактні групи магнітних пускачів керування асинхронними двигунами М1, М2; КМ3.1, КМ4.1 - контактні групи магнітних пускачів керування порошковим гальмом ГП та двигуном постійного струму М3; КМ1.2 - КМ4.2 - блок-контакти магнітних пускачів; керований двонапівперіодний випрямляч живлення двигуна М3; КВ - керований випрямляч живлення порошкового гальма ГП; К-505 - комплект вимірювальних приладів (амперметр, ватметр, вольтметр); ПЧ - перетворювач частоти; РЧ - черв'ячний редуктор; ГП - гальмо порошкового типу; ВР - фотоелектричний датчик електронного тахометра; РВ - ватметр; R1- регулювальний реостат ланцюга обмотки збудження двигуна М3; R2 - регулювальний реостат ланцюга якоря двигуна М3; ТГ- тахогенератор. ДШ - датчик кутової швидкості; ДГМ - датчик гальмівного моменту.

#### **6.4 Складання вимірювальної схеми запису і реєстрації сигналів датчиків**

Застосовуємо схему наведену на рис.6.2. Тензометричні датчики гальмівного моменту ДГМ, що з'єднані в схему напівмосту екранованим

кабелем під'єднують до входу тензопідсилювача **ТП** в якості якого використовується чотирьоканальний підсилювач **ТММ-48**.

Виходи відповідних аналогових підсилених сигналів датчиків під'єднують до аналогових входів **АЦП** в якості якого використовується пристрій **Е-14-140**. Датчик кутової координати валу двигуна індуктивного типу під'єднують до **АЦП** безпосередньо. Так само безпосередньо до **АЦП** під'єднують виходи фільтрів сигналів споживаного двигунами струму. Екрани кабелів та тензопідсилювач мають бути заземлені. Оцифровані сигнали датчиків по **USB**-кабелю подаються на вхід персонального комп'ютера.

В процесі дослідження механічних характеристик двигуна здійснюється запис осцилограм, на яких відтворюються сигнали датчиків: **ДГМ** (моменту, що створюється гальмом на тихохідному валу редуктора), **ДШ** (частоти обертання двигуна), сили споживаного двигуном струму (використання трансформаторів струму **Т1**, **Т2**, випрямлячів **В1**, **В2**, фільтрів **Ф1**, **Ф2**).

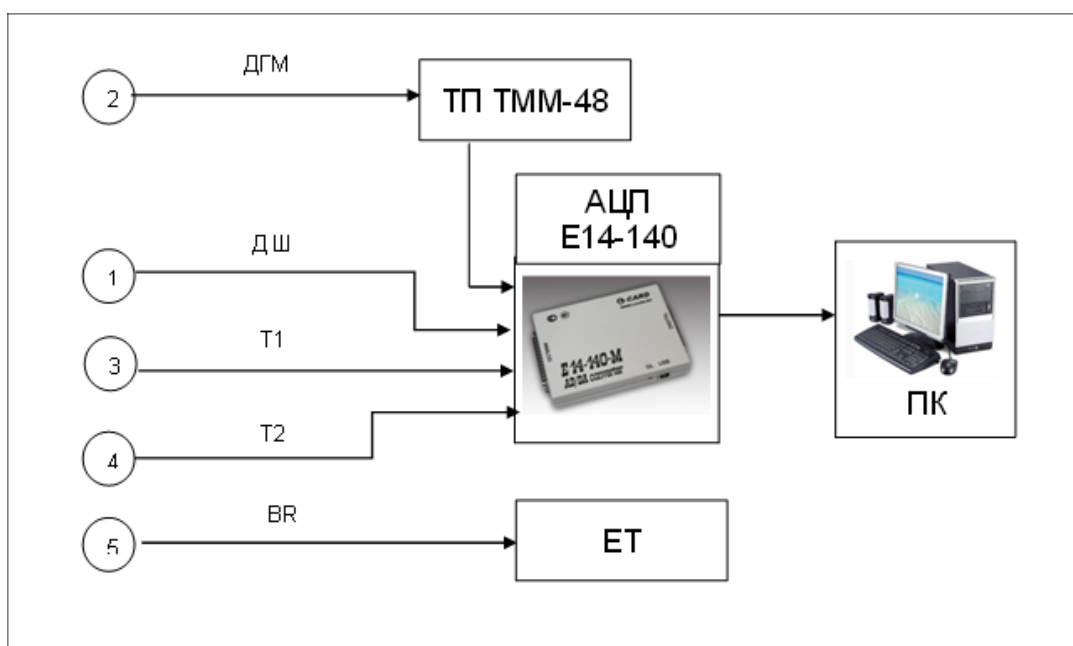


Рис. 6.2. Блок-схема з'єднань датчиків вимірювальної системи

Для вимірювання моменту на валу редуктора використовуються датчики тензOMETричного типу з наступним підсиленням сигналів тензостанцією **ТММ-48**. Підсилені сигнали тензодатчиків та сигнал індуктивного датчика (безпосередньо) подаються на вхід аналого-цифрового перетворювача **АЦП Е14-140**, вихід якого під'єднується до **USB**-входу персонального комп'ютера. Для реєстрації та відтворення осцилограм сигналів датчиків під час роботи двигуна на частотах 50, 40, 30, 20, 10 Гц використовується програмне середовище **PowerGraph**.

## 6.5 Налаштування програмного середовища powergraph

Після запуску середовища необхідно обрати як джерело інформації - АЦП E14-140 (рис.6.3).

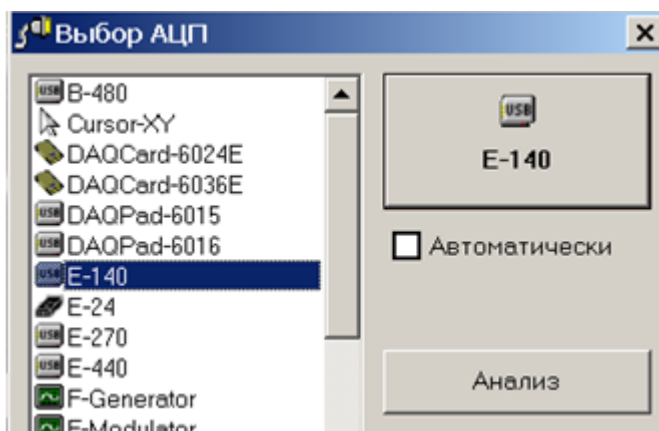


Рис. 6.3. Вікно вибору АЦП

Використовуючи головне меню програмного засобу PowerGraph обирають 4 необхідних каналів запису (рис.6.4) для чого застосовуємо меню "Сервис", "Каналы и графики", "Количество графиков".

Рекомендована частота реєстрації сигналів для заданого експерименту може бути прийнятою 1 кГц. Необхідно зважати на особливість АЦП E14-140: на підвищених частотах реєстрації спостерігається взаємопроникнення сигналів, що є небажаним явищем. Встановлення частоти реєстрації сигналів здійснюють вибором необхідного значення у верхній правій частині робочого вікна середовища, рис.6.5.

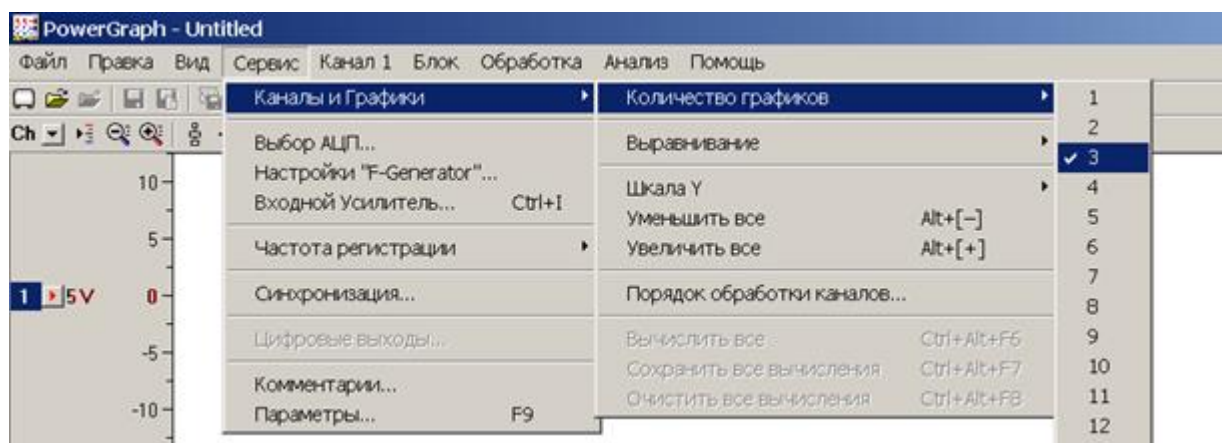


Рис. 6.4. Встановлення кількості каналів вимірювання

Наступним кроком є почергове встановлення базових рівнів сигналів для окремих каналів запису, для чого використовують головне меню, "Канал x", "Установить базовый уровень", або ж комбінацією клавіш "Ctrl+B" . Після

цього вісь абсцис графіку "x" буде встановлено на "0" шкали відповідного каналу (рис.6.6).

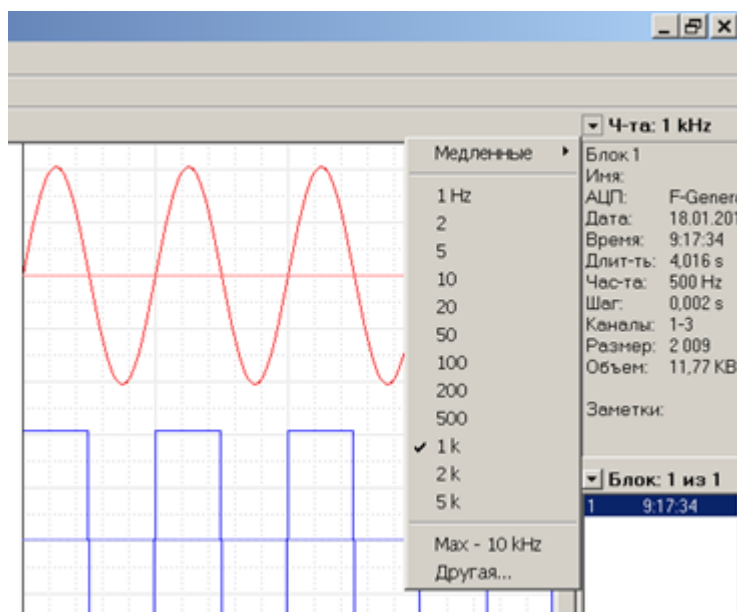


Рис. 6.5. Вибір частоти реєстрації сигналів датчиків

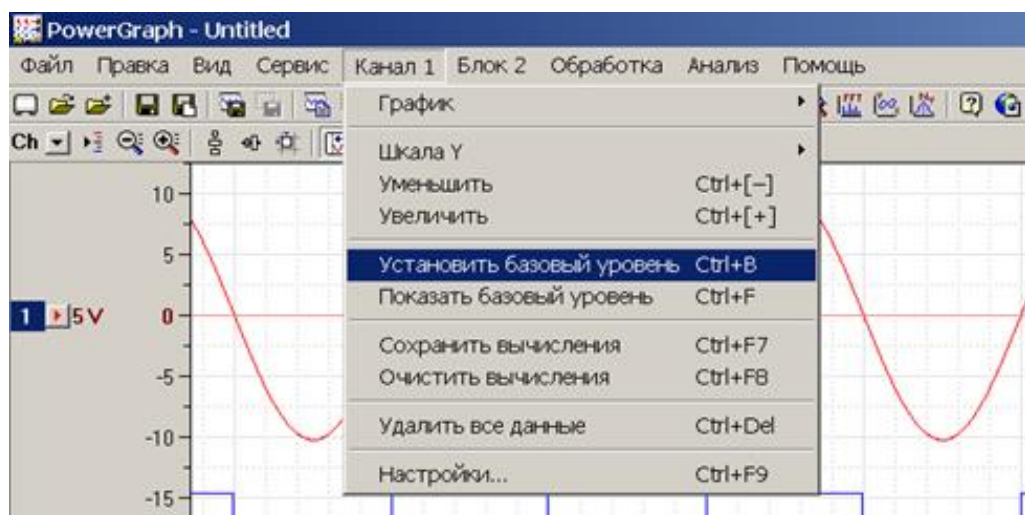


Рис. 6.6. Задання базового рівня для 1-го каналу

Наступним кроком встановлюють орієнтовне значення масштабів осцилограм відповідно рис.6.7. Масштаб осцилограм (значення амплітуди між сусідніми мітками шкали) вказується праворуч від кнопки відповідного графіку.

Середовищем PowerGraph відтворення графіків сигналів датчиків можливе у форматі осцилографу і самописця. Для задач лабораторного практикуму зручно використовувати формат самописця, рис.6.8. Вказаний формат активізується з головного меню: "Вид", "Самописець".

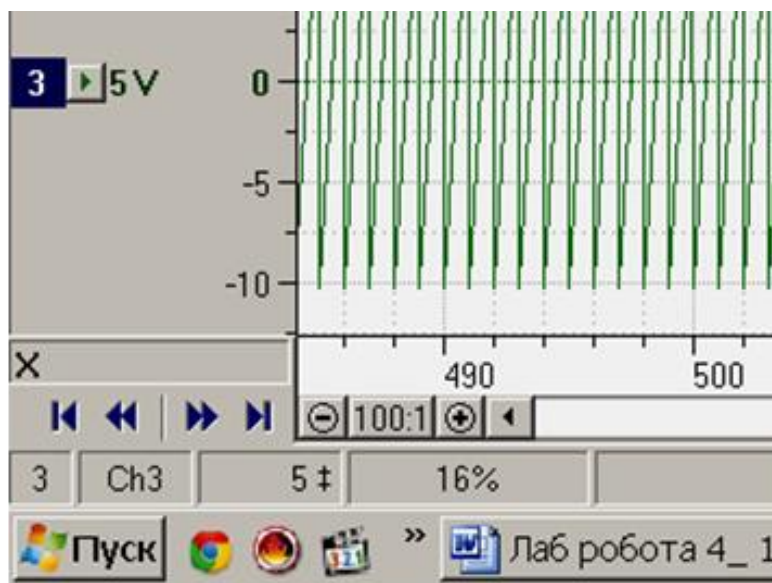


Рис. 6.7. Вибір масштабу розгортки осцилограми

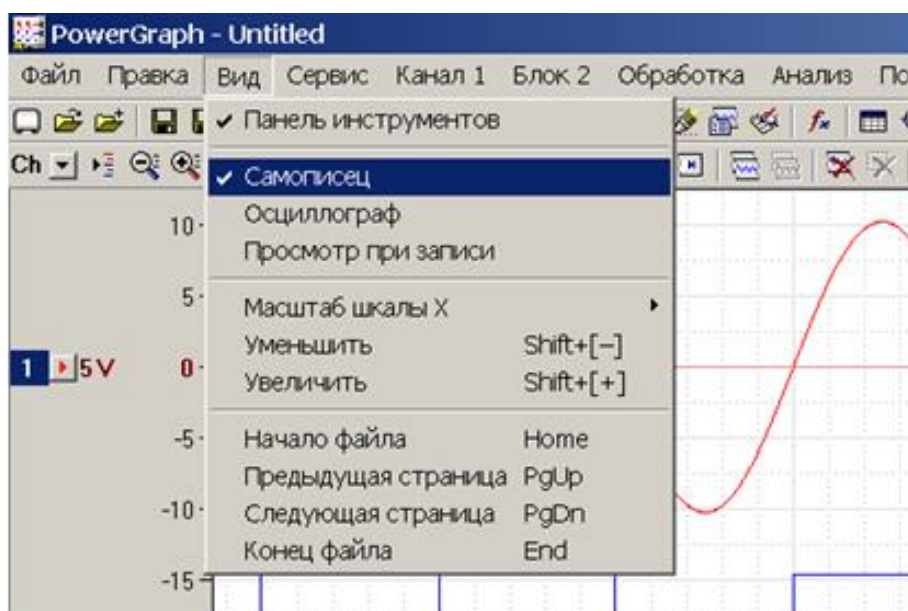


Рис. 6.8. Вибір формату відтворення осцилограм "Самописець"

## 6.6 Порядок виконання роботи

Для дослідження механічної і електромеханічної характеристики асинхронного двигуна М1 необхідно:

1. Увімкнути автоматичний вимикач **QF1**.
2. Увімкнути тензопідсилювач **ТП**, після 5-хвилинної паузи відбалансувати канал вимірювання гальмівного моменту, за відсутності навантаження виставити стрілку міліамперметра на "0" ручками потенціометрів спочатку "грубо", далі "точно".

3. Виконати тарування датчиків гальмівного моменту аналогічно лабораторній роботі 4.
4. Відповідно блок-схеми, рис.6.2 налаштувати програмне середовище PowerGraph для запису осцилограм гальмівного моменту **МГ**, датчика кутової швидкості **ДШ**, сили струму **Т1**.
5. Увімкнути цифровий електронний тахометр **ЕТ** і під'єднати його до датчика **ВР**.
6. Установить на частотному перетворювачі стандартне значення частоти 50 Гц.
7. Записати осцилограму пуску асинхронного двигуна **М1** та його роботу в усталеному режимі в режимі холостого ходу (без подачі напруги на гальмо **ГП**).
8. Повторити запис осцилограм двигуна для трьох значень навантаження , для чого необхідно увімкнути контактор **КМ3.1** за допомогою кнопочового вимикача **SB5**.
9. Вимкнути двигун загальною кнопкою **SB ("СТОП")**.
10. Розшифрувати осцилограми.
11. Побудувати механічну та електромеханічну характеристику двигуна.
12. Пункти 8-11 повторити для встановлених частот 40, 30, 20 Гц.

Побудова механічних характеристик виконується по 4 характерних точках. Точка С, що відповідає синхронній частоті :

обертання магнітного поля статора визначається за формулою

$$n_c = \frac{60f}{p}, \quad (6.1)$$

де  $f$  – частота струму в мережі  $f = 50$  Гц ( в США і деяких інших країнах  $f = 60$  Гц);

$p$  – число пар полюсів обмотки статора ( $p = 1,2,3,4..k$ ).

Точка Н, що відповідає номінальному моменту визначається з паспортних даних двигуна; точка К - критичного навантаження і точка П - пускового моменту - визначаються за отриманими в процесі експерименту осцилограмами. Величина критичного моменту визначається в процесі навантаження двигуна до його зупинки (стану „перекидання”).



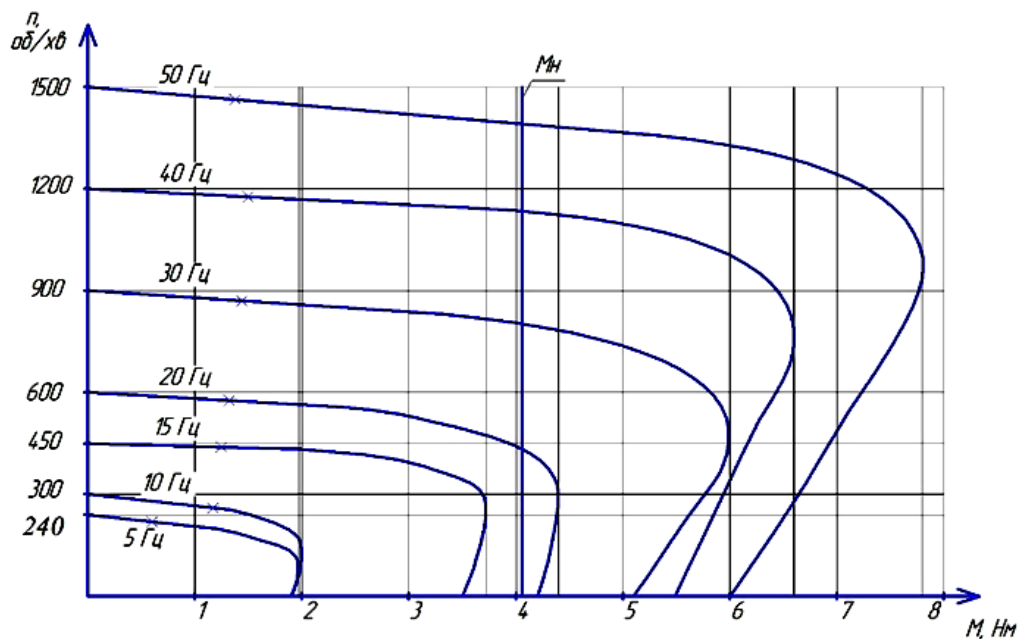


Рис. 6.9. Сімейство механічних характеристик асинхронного двигуна отриманих з перетворювачем частоти ABB ACS 350-03X-04A1-4

## 6.7 Контрольні питання

1. Що являє собою механічна та електромеханічна характеристика двигуна?
2. Який висновок можемо зробити відносно жорсткості отриманих механічних характеристик?
3. Як впливає зміна частоти мережі живлення на роботу двигуна?
4. За якими формулами можливо побудувати механічну характеристику двигуна?
5. Які переваги надає використання частотних перетворювачів порівняно з іншими методами регулювання частоти обертання асинхронних двигунів?

## Лабораторна робота №7

### Дослідження характеристик двигуна постійного струму незалежного збудження

#### 7.1 Мета роботи:

- вивчити рушійний, гальмівний та генераторний режими роботи двигуна;
- побудувати механічну та електромеханічну характеристики в рушійному та генераторному режимах.

#### 7.2 Конструкція і принцип дії лабораторної установки

Для проведення лабораторної роботи використовуємо уніфіковану лабораторну установку з вимірювальною та реєструючою апаратурою, опис яких наведено в поясненнях до лабораторної роботи №6.

#### 7.3 Основні теоретичні положення до лабораторної роботи

Механічною характеристикою двигуна постійного струму називається залежність швидкості від моменту на валу  $\omega = f(M)$ . Залежність швидкості від струму якоря називається швидкісною характеристикою двигуна  $\omega = f(I_a)$ .

Механічні характеристики двигуна постійного струму паралельного (незалеж...ного) збудження в режимі двигуна визначаються за формулою:

$$\omega = \frac{U}{K \cdot \Phi} - \frac{MR}{K^2 \cdot \Phi^2}, \quad (7.1)$$

$$R = R_a + R_p, \quad (7.2)$$

- де  $K$  – стала машини;  
 $\Phi$  – магнітний потік двигуна;  
 $R$  – опір ступеня реостата;  
 $R_a$  – опір якоря;  
 $R_p$  – опір реостата.

Механічні характеристики двигуна постійного струму паралельного і незалежного збудження у всіх режимах – лінійні, та при  $\Phi = const$ ,  $U = const$  проходять через точку ідеального холостого ходу при  $\omega = 0$ ;  $M = 0$  і  $\omega = \frac{U}{K\Phi}$ ;  $M = 0$ . (у режимі динамічного гальмування).

Жорсткість механічних характеристик залежить від опору в колі якоря.

Перед подачею напруги на стенд, а також при кожному вмиканні і вимиканні машин, встановлюють максимальні опори реостатів.

Після увімкнення двигуна у мережу зменшують опір реостата якірного кола до значення, передбаченого порядком проведення роботи.

Навантаження на валу двигуна задають зміною напруги гальма ГП за допомогою керованого випрямляча КВ. Для кожного навантаження реєструють при встановленій швидкості струм, напругу та швидкість двигуна за приладами відповідно:  $I, V, n$ . Показання заносять до Табл. 7.1.

Табл. 7.1. Таблиця для заповнення під час виконання лабораторної роботи

№ п/п	Дані замірів				Розрахункові дані		Режим роботи
	$R_p$	$U_1$	$I_2$	$U_3$	$\omega$	$M$	

Якщо  $I_3 = I_{3H} = const$ , тоді

$$M = M_H \frac{I}{I_H} \quad (7.3)$$

Рекуперація - це генераторний режим з віддачею енергії у мережу. В цьому гальмівному режимі швидкість обертання двигуна повинна бути більшою від швидкості ідеального холостого ходу  $\omega_0$ . Перевіривши напрям обертання машин М1 і М3 почерговим вмиканням SB1 і SB7 і встановивши їх однаковими, вмикають двигун у мережу. Зменшують опір в якірному колі двигуна до заданого значення. Розганяють двигун до швидкості, більшої від  $\omega_0$ , за допомогою асинхронного двигуна М1, частоту обертання якого змінюють за допомогою частотного перетворювача ПЧ.

Режим динамічного гальмування - це генераторний режим з розсіюванням енергії в реостаті. Для одержання режиму, якірне коло двигуна замикають на реостат, в рушійному режимі використовують двигун М1. Струм обмотки збудження двигуна М3 - номінальний.

номінальний момент

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (7.4)$$

номінальний ККД

$$\eta_H = \frac{P_H}{U_H I_H}, \quad (7.5)$$

номінальний опір

$$R_H = \frac{U_H}{I_H}, \quad (7.6)$$

приблизне значення опору якоря у нагрітому стані

$$R_{я} = 0.5 R_H (1 - \eta_H). \quad (7.7)$$

Кутова швидкість обертання якоря при номінальному моменті і заданому опорі ступеня реостата

$$\omega_{\text{ні}} = \omega_{\text{н}} \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{i}}}{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{я}}}, \quad (7.8)$$

$$R_{\text{i}} = R_{\text{я}} + R_{\text{рі}}. \quad (7.9)$$

Для побудови механічних характеристик у режимі динамічного гальмування знаходять координати двох точок. Одну з них визначають на початку координат, другу (кутову швидкість) - при номінальному моменті

$$\omega_{\text{нді}} = \omega_{\text{н}} \frac{I_{\text{н}} R_{\text{i}}}{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} R_{\text{я}}}. \quad (7.10)$$

Розрахункові та експериментальні характеристики будують на одному графіку.

Порівнюючи розрахункові та експериментальні механічні характеристики в кожному з режимів, звертають увагу на їх відповідність, лінійність, жорсткість.

## 7.4 Порядок проведення роботи

1. Для дослідження роботи двигуна в рушійному режимі використовують в лабораторному стенді рис. 6.1 двигун МЗ постійного струму з незалежним збудженням, а як навантаження - гальмо порошкового типу ПГ. Для дослідження записати паспортні дані машин, апаратів і приладів, включених у схему, а також величин опорів реостата.
2. Зняти і побудувати дві штучні і природну характеристики в режимі двигуна при  $R_{\text{р}} \approx R_{\text{н}}$ ;  $R_{\text{р}} \approx 0,3 \cdot R_{\text{н}}$ ;  $R_{\text{р}} = 0$ .
3. Зняти і побудувати дві штучні і природну механічні характеристики в режимі генератора при  $R_{\text{р}} \approx R_{\text{н}}$ ;  $R_{\text{р}} \approx 0,3 \cdot R_{\text{н}}$ ;  $R_{\text{р}} = 0$ .
4. Зняти і побудувати дві штучні і природну характеристики в режимі електродинамічного гальмування при  $R_{\text{р}} \approx R_{\text{н}}$ ;  $R_{\text{р}} = 0$ .
5. Визначити основні параметри двигуна:  $M_{\text{н}}$ ,  $\eta_{\text{н}}$ ,  $S_{\text{н}}$ ,  $R_{\text{н}}$ ,  $R_2$ ,  $\omega_{\text{н}}$ .
6. Розрахувати і побудувати механічні характеристики двигуна за паспортними даними в кожному з режимів при використаних значеннях  $R_{\text{р}}$ .
7. Зробити висновки по кожному режиму та по роботі в цілому.

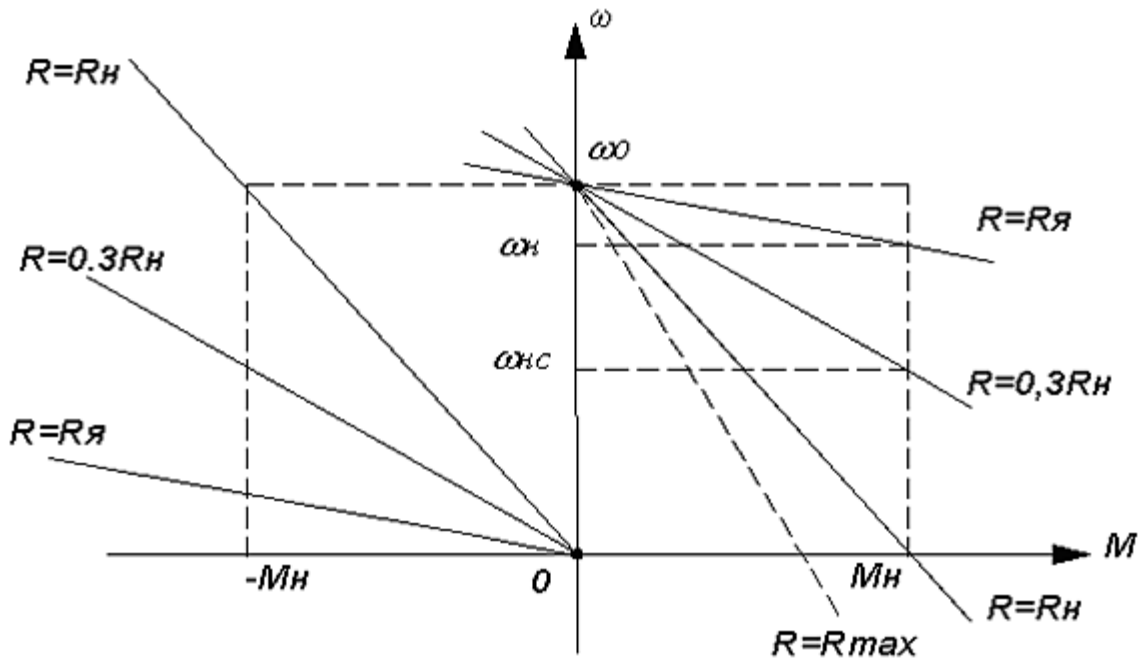


Рис. 7.1. Орієнтовні механічні характеристики двигуна постійного струму

## 7.5 Контрольні запитання та завдання

1. За допомогою статичних характеристик пояснити, як знімаються механічні характеристики в режимах: рушійному, рекуперації, проти ввімкнення, динамічного гальмування.
2. Які параметри і з якою метою контролюють при пуску двигуна постійного струму?
3. Як розрахувати момент двигуна в режимі генератора за експериментальними даними?
4. У кожному із режимів задатися точкою на експериментально знятій характеристиці двигуна і побудувати для навантажувальної машини характеристику, яка відповідає роботі двигуна в цій точці.
5. Як зміниться положення точки спільної роботи двигуна і навантажувальної машини, знайдене при почерговій зміні опорів у колах двигуна і струму гальмівного пристрою?

## Лабораторна робота №8

### Дослідження серієсного двигуна постійного струму та побудова його механічної та електромеханічної характеристик

До роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, перевірку знань і вимог охорони праці та техніки безпеки.

#### 8.1 Мета роботи:

- Вивчити і дослідити особливості експлуатації електродвигуна постійного струму з послідовним збудженням.
- За результатами експериментально отриманих осцилограм побудувати механічну та електромеханічну характеристики серієсного двигуна постійного струму.

#### 8.2 Основні відомості по темі

У даних двигунах постійного струму обмотка збудження включається (рис.8.1) послідовно з обмоткою якоря, внаслідок чого струм збудження дорівнює струму якоря і створюваний ним потік  $\Phi$  буде пропорційний струму якоря

$$\Phi = \alpha I_{\text{я}} \quad (8.1)$$

де  $\alpha$  – нелінійний коефіцієнт

$$\alpha = f(I_{\text{я}}), \quad (8.2)$$

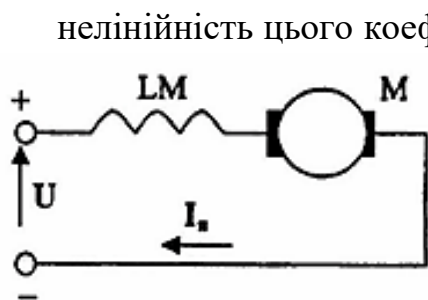


Рис. 8.1. Схема включення серієсного двигуна постійного струму

нелінійність цього коефіцієнта пов'язана з формою кривої намагнічення і розмагнічуючою дією реакції якоря; обидва ці чинники виявляють себе при великих струмах  $I_{\text{я}} > (0,7 - 0,8)I_{\text{ян}}$ ; при малих струмах якоря коефіцієнт можна вважати величиною постійною. При струмах якоря  $I_{\text{я}} > 2I_{\text{ян}}$  машина насичується, і величина потоку мало залежить від струму якоря. Залежність потоку збудження від навантаження (8.1) визначає своєрідність електромеханічних характеристик двигуна постійного струму послідовного збудження.

Для зміни напрямку обертання двигуна послідовного збудження недостатньо змінити полярність напруги, що підводиться до двигуна, оскільки при цьому зміниться одночасно і напрям струму в обмотці якоря і полярність потоку збудження. Тому для реверсування двигуна треба змінити напрям струму в одній з частин машини, наприклад в обмотці збудження, залишивши напрям струму в обмотці якоря незмінним, як це показано на схемі рис.8.2.

Основні співвідношення для даних двигунів.

$$E_{\text{я}} = k\alpha I_{\text{я}}\omega, \quad (8.3)$$

$$M = k\alpha I_{\text{я}}^2. \quad (8.4)$$

Відповідно, вирази для електромеханічної і механічної характеристик двигуна послідовного збудження будуть:

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{k\alpha I_{\text{я}}} - \frac{R_{\Sigma\text{я}}}{k\alpha}, \text{ або } \omega = \frac{A}{I_{\text{я}}} - B, \quad (8.5)$$

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{\sqrt{k\alpha M}} - \frac{R_{\Sigma\text{я}}}{k\alpha}, \text{ або } \omega = \frac{A}{\sqrt{M}} - B. \quad (8.6)$$

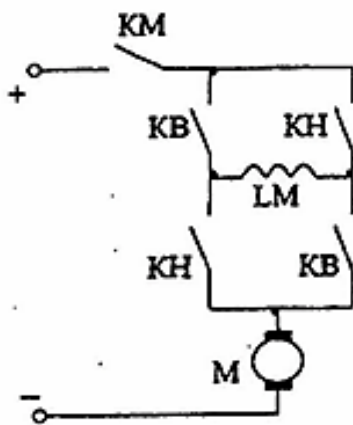


Рис. 8.2. Схема реверсу серієсного двигуна

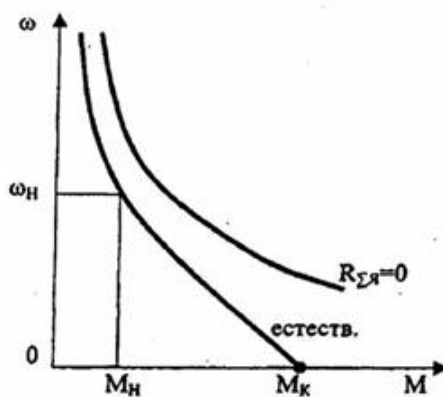


Рис. 8.3. Природна та ідеальна характеристики

У першому наближенні механічну характеристику двигуна постійного струму послідовного збудження, якщо не враховувати насичення магнітного ланцюга, можна представити у вигляді гіперболи, що не перетинає вісь ординат, а що асимптотично наближається до неї.

Якщо покласти  $(R_{\text{я}} + R_{\text{з}}) = 0$ , то характеристика (рис.8.3) не буде перетинати і вісь абсцис. Така характеристика називається "ідеальною"; вище її характеристики бути не можуть. Реальна природна характеристика перетинає вісь абсцис в точці, що відповідає струму короткого замикання (момент  $M_{\text{к}}$ ). Якщо враховувати насичення двигуна, то при моментах менших  $0,8M_{\text{к}}$  характеристика криволінійна і носить гіперболічний характер; при великих значеннях струму і моменту потік внаслідок насичення стає постійним і характеристика випрямляється.

Характерною особливістю характеристик двигуна послідовного збудження є відсутність точки ідеального холостого ходу. При зменшенні навантаження швидкість двигуна істотно зростає, внаслідок чого залишати двигун без навантаження неприпустимо.

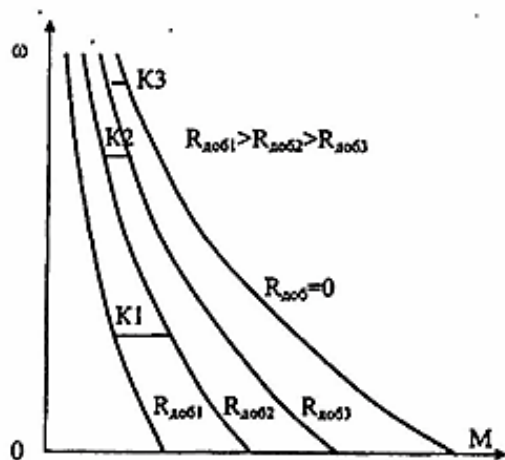


Рис. 8.4. Реостатні механічні характеристики серієсного двигуна

перевагою двигунів послідовного збудження являється відсутність окремого джерела живлення для ланцюга збудження двигуна.

Штучні механічні характеристики можуть бути отримані трьома способами: включенням додаткового опору в ланцюг якоря, зміною величини напруги живлення і шунтуванням обмотки якоря додатковим опором.

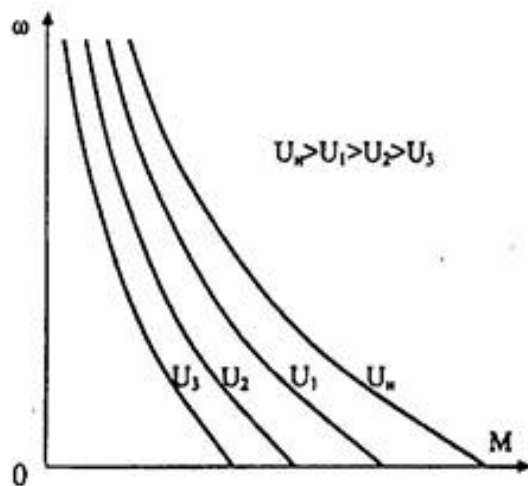


Рис. 8.5. Механічні характеристики серієсного двигуна за умови зміни напруги

Важливою перевагою двигунів послідовного збудження є велика перевантажувальна здатність на низьких швидкостях. При перевантаженні по струму в 2,25-2,5 рази двигун розвиває момент 3,0-3,5 номінального. Ця обставина визначила широке використання двигунів послідовного збудження для електричних транспортних засобів, де найбільші моменти потрібні при зрушенні з місця. Другою важливою

перевагою двигунів послідовного збудження є велика перевантажувальна здатність на низьких швидкостях. При перевантаженні по струму в 2,25-2,5 рази двигун розвиває момент 3,0-3,5 номінального. Ця обставина визначила широке використання двигунів послідовного збудження для електричних транспортних засобів, де найбільші моменти потрібні при зрушенні з місця. Другою важливою перевагою двигунів послідовного збудження є відсутність окремого джерела живлення для ланцюга збудження двигуна. Штучні механічні характеристики можуть бути отримані трьома способами: включенням додаткового опору в ланцюг якоря, зміною величини напруги живлення і шунтуванням обмотки якоря додатковим опором. При введенні додаткового опору в ланцюг якоря жорсткість механічних характеристик зменшується і зменшується значення  $M_k$  (див. рис.8.4). Цей спосіб регулювання використовується при пуску двигуна, коли ступені реостату перемикаються пусковими контакторами К1, К2, К3. На рис.8.5 показані пускові характеристики, що відповідають триступінчатій схемі пуску. Тривала робота на реостатних характеристиках пов'язана зі значними втратами енергії в опорах.

Найбільш економічним способом регулювання швидкості двигуна послідовного збудження є зміна величини напруги, що підводиться до двигуна. Механічні характеристики, що відповідають цьому способу регулювання, показані на рис.8.6. У міру зменшення напруги вони зміщуються вниз



паралельно природній характеристиці. Зовні штучні характеристики при регулюванні зміною напруги схожі з реостатними характеристиками, проте, є істотна різниця в цих способах регулювання. Реостатне регулювання пов'язане з втратою енергії в додаткових опорах, а при регулюванні зміною напруги додаткові втрати відсутні.

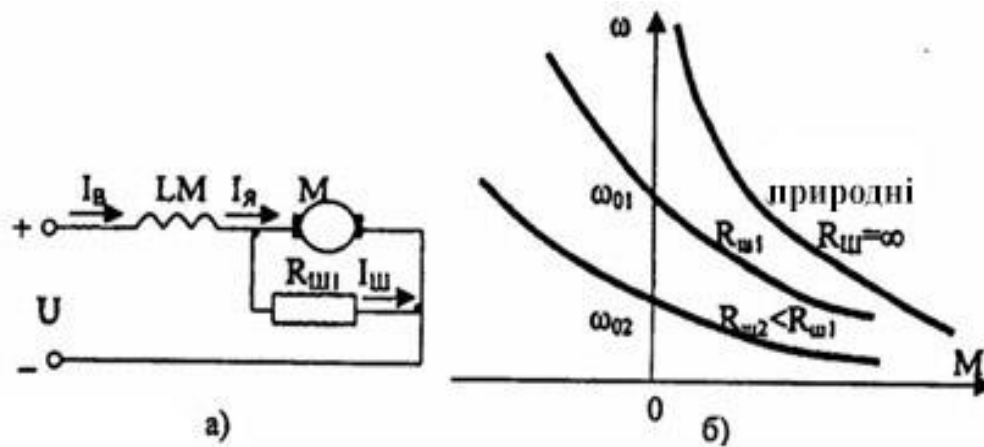


Рис. 8.6. Схема і механічні характеристики серієсного двигуна за умови шунтування обмотки якоря

### 8.3 Обладнання і прилади для виконання роботи

Стенд (рис.8.7, рис. 8.8) має двигун 1, що досліджується, який за допомогою муфти 2 з'єднано з швидкохідним валом черв'ячного редуктора 3, який в свою чергу муфтою 5 з'єднано з порошковим гальмом 6. Живлення двигуна здійснюється від окремого джерела постійного струму, який складається з силового трансформатора 7 та випрямляча 8, який зібрано за мостовою схемою. Порошкове гальмо 6 живиться від окремого керованого джерела постійного струму 9.

Конструкцією стенду передбачено вимірювання частоти обертання двигуна, для чого використано індуктивний датчик 10 сигнали якого подаються на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 13. Момент навантаження вимірюється тензометричними датчиками 11, що наклеєні на штатну пружну балочку порошкового гальма 6. Сигнал від датчиків підсилюється тензопідсилювачем 12 і також подається на АЦП.

Для вимірювання сили струму в ланцюзі двигуна послідовно до обмотки збудження 14 та обмотки якоря ввімкнено за допомогою шунта 15 амперметр 16. Для відтворення на осцилограмі сили струму у функції часу використано додатковий шунт 17 та фільтр 18. Виходи АЦП під'єднані за допомогою інтерфейсу USB до персонального комп'ютера (ПК).

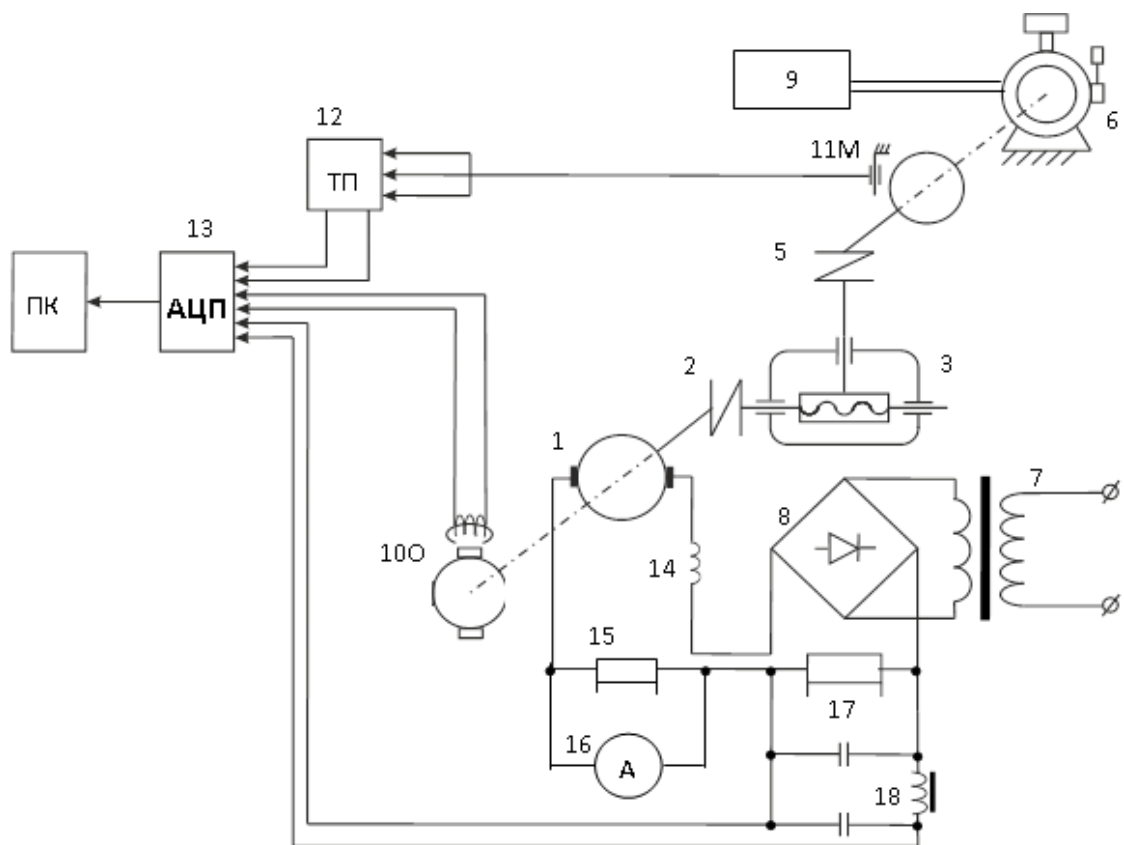


Рис. 8.7. Схема стенду дослідження серієсного двигуна постійного струму

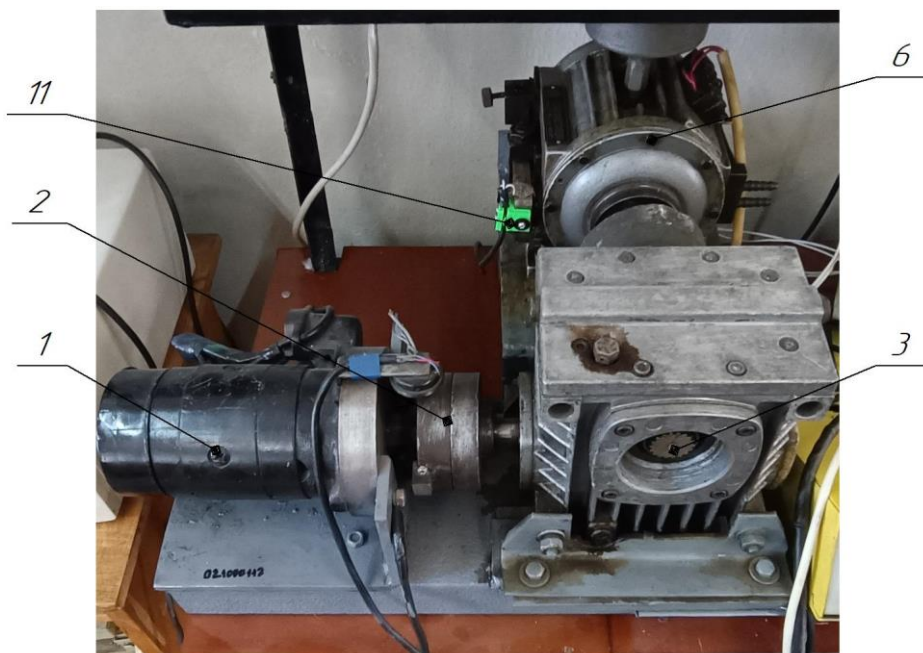


Рис. 8.8. Зовнішній вигляд стенду для дослідження серієсного двигуна постійного струму

Методика дослідження характеристик двигуна передбачає запис осцилограм сигналів датчиків моменту навантаження, сили струму та частоти обертання двигуна в режимі реального часу для аналізу, побудови механічної та електромеханічної характеристик.

Наступний аналіз передбачає визначення жорсткості характеристик, навантажувальної здатності двигуна та його допустимих режимів роботи, зокрема недопустимості ввімкнення без навантаження на валу. Для запису осцилограм та їх аналізу використовується середовище PowerGraph.

На рис. 7.9 наведено робоче вікно середовища із записаними осцилограмами датчиків моменту навантаження (1), сили струму (2), частоти обертання (3).

Для тарування тензометричних датчиків використовується навантажувальне пристосування у вигляді градуйованого важеля та гирьового набору. Ціна поділки шкали осцилограми для датчика струму визначалась в усталеному режимі показами амперметра, ввімкненого послідовно в ланцюг живлення двигуна. Миттєві значення частоти обертання двигуна визначаються по осцилограмі за значеннями періоду імпульсів датчика 3, для чого в нижній частині робочого вікна середовища використовується шкала часу. З метою підвищення точності вимірів використовується зміна масштабування по осі абсцис, чи зміна частоти реєстрації сигналів.

Отримані в режимі реального часу осцилограми надають можливість простежити реакцію двигуна на величину навантаження, що дозволяє виконати побудову механічної характеристики. Осцилограма сили струму, яка також є функцією навантаження дозволяє побудувати електромеханічну характеристику двигуна.

Практичний інтерес для дослідника являє також визначення навантажувальної здатності двигуна залежно від падіння напруги джерела живлення.

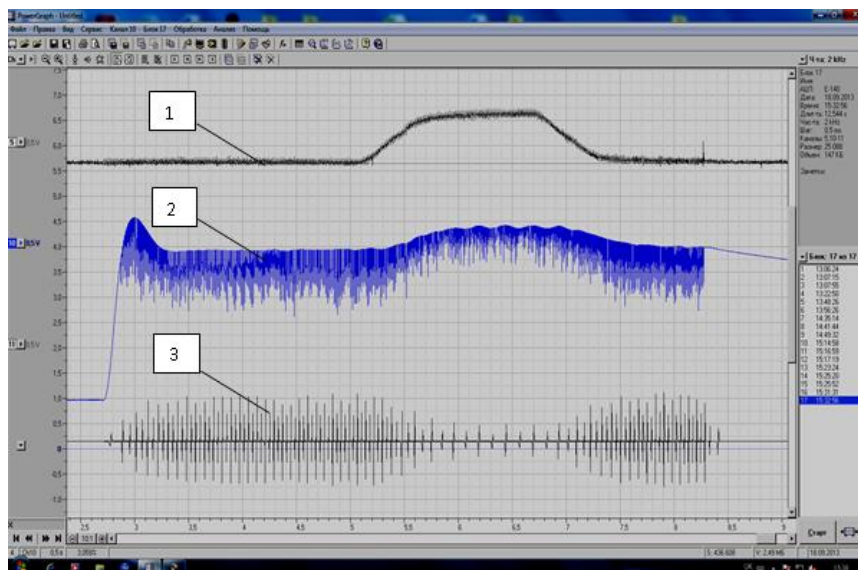


Рис. 8.9. Осцилограма датчиків моменту навантаження (1), сили струму (2), частоти обертання (3).

## 8.4 Порядок виконання роботи

1. Вмикають персональний комп'ютер та тензопідсилювач.
2. Встановлюють програму-драйвер для АЦП Е14-140 та програмне середовище PowerGraph.
3. З'єднують USB-кабелем АЦП з ПК.
4. Налаштовують програмне середовище PowerGraph (див. лаб. роботу 1) для чого обирають 3 канали запису інформації (частота обертання валу двигуна, гальмівний момент та сила струму).
5. Регулювальними потенціометрами тензопідсилювача виконують балансування тензометричного мосту, для чого при відсутності навантаження міліамперметр підсилювача встановлюють в нульове положення.
6. В режимі сповільненої прокрутки осцилограми встановлюють необхідну чутливість каналів у віконці «шкала Y» відповідного каналу.
7. Виконують тарування тензометричних датчиків гальмівного моменту порошкового гальма в такій послідовності:
  - 7.1. Тарувальний важіль у вигляді лінійки з захоплюючим кронштейном закріплюють на поворотній частині гальма.
  - 7.2. Послідовним закріпленням на тарувальному важелі декількох тарувальних мас (гирь) визначають відповідний їм момент гальма і записують відповідне відхилення лінії осцилограми.
  - 7.3. Будують тарувальні графіки для датчиків гальмівного моменту та сили струму, для чого використовують увімкнений в ланцюзі ротора амперметр.
8. Після тарування датчиків тарувальний важіль знімають з гальма.
9. Вмикають живлення двигуна установки та виконують запис осцилограми в режимі холостого ходу та ряду навантажень для створення яких змінюють силу струму, що проходить через обмотку порошкового гальма за допомогою керованого джерела постійного струму 9.
10. Розшифровку осцилограми здійснюють після вимкнення двигуна. Осцилограму розширюють в межах кожного значення навантаження та визначають відповідні частоти обертання двигуна. Для цього період одного оберту двигуна та відповідне миттєве значення частоти обертання за формулою:

$$n = \frac{60}{T} \times \nu^{-1}, \quad (8.7)$$

де  $T$  – період (час, що відповідає одному оберту двигуна).

11. За отриманими результатами розшифровки осцилограми будують механічну характеристику двигуна в системі координат: момент навантаження - частота обертання  $n = f(M)$  та електромеханічну характеристику в системі координат сила струму - частота обертання  $n = f(I)$ .

## 8.5 Контрольні питання до роботи

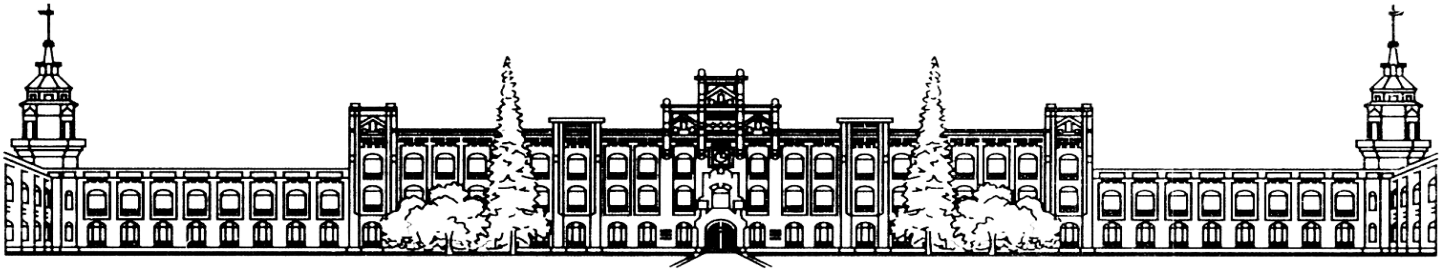
1. Які конструктивні особливості серієсного двигуна постійного струму?
2. Які необхідно знати застереження щодо експлуатації серійних двигунів?
3. Навести механічну характеристику двигуна та надати відповідні пояснення.
4. Послідовність роботи по таруванню датчиків лабораторної установки.
5. Надати пояснення будови та принципу роботи лабораторної установки.
6. Навести послідовність експериментального дослідження двигуна постійного струму з послідовним збудженням.
7. За якої умови досягається обмеження частоти обертання серієсного двигуна?
8. Область використання серієсних двигунів в промисловості?

## Рекомендована література

1. Теорія електропривода: Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк В.А. Гаврилюк та ін.; За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494с., іл.
2. Півняк Г.Г., Довгань В.П., Шкрабець Ф.П. Електричні машини: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. -327с.
3. Лавриненко Ю.М. Електропривід. Підручник за ред., Лавриненко Ю.М Вид. 2-е, доп. і перероб., Київ, Діра-К., 2009,503 с.
4. Попович М.Г. Теорія електроприводу підручник для студ. вузів ред., М.Г. Попович, К: Вища школа, 1993, 494 с.
5. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посібник для вищ. навч. закл., за ред... Поповича М.Г., Лозинського О.Ю. – К.:Либідь, 2005, 678 с.
6. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посібник За ред.. Н.Е. та О.Ю. Лозинського, – К.:Либідь, 2005, 678 с.

## **Додаток А**

### **Приклад титульної сторінки протоколу лабораторної роботи**



**Національний технічний університет України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Кафедра Прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки**

Лабораторна робота №Х

ТЕМА: ВИВЧЕННЯ БУДОВИ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

**Виконав студент 3 курсу,  
групи МА-ХХ**

**Іванов Іван Іванович**

ПЕРЕВІРИВ:

Петренко Петро Петрович

Захищено з оцінкою:

\_\_\_\_\_