

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

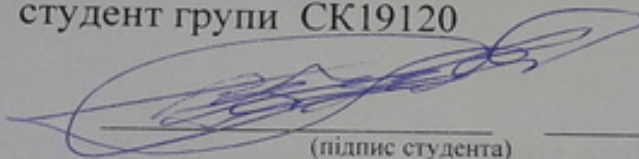
Факультет «Комп'ютерних технологій і систем»  
Кафедра «Автоматика та телекомунікації»

**Пояснювальна записка**  
до кваліфікаційної роботи  
бакалавра  
(ступінь вищої освіти)

на тему: Діагностування двигунів метрополітену

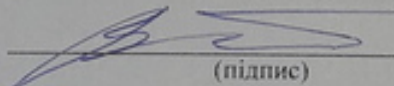
за освітньою програмою Системи керування рухом поїздів  
зі спеціальності: 273 Залізничний транспорт  
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи СК19120

  
(підпис студента)

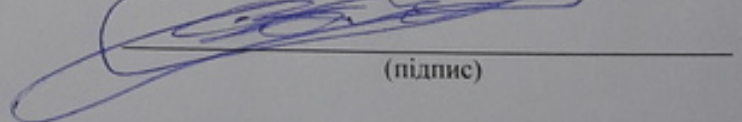
/ Богдан САКОВИЧ /  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

  
(підпис)

/доц., Володимир ПРОФАТИЛОВ/  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

  
(підпис)

Дніпро – 2022 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine**  
**Ukrainian State University of Science and Technologies**

Computer technology and systems  
(faculty)

Automation and telecommunications  
(department)

**Explanatory Note**  
**to Master's Thesis**  
**bachelor**  
(higher education degree)

on the topic: Metro drive diagnostics  
according to educational curriculum Train traffic control systems  
in the Speciality: 273 Railway transport  
(speciality and its code )

Done by the student of the group: CK19120 / Bohdan SAKOVYCH /  
(name, surname)

Supervisor / Associate professor, Volodymyr Profatylov /  
(position, name, surname)

Dnipro – 2022

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем  
Кафедра: Автоматика та телекомунікації  
Рівень вищої освіти: Перший (бакалаврський)  
Освітня програма: Системи керування рухом поїздів  
Спеціальність: 273 залізничний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу

бакалавра

(ступінь вищої освіти)

студенту

Сакович Богдан Леонідович

(Прізвище, Ім'я По батькові)

**1. Тема роботи:** Діагностування двигунів метрополітену

**Керівник роботи:** Профатилів Володимир Іванович, к.т.н., доцент  
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом від

"18" жовтень 2021р.

№ 704- ст

**2. Строк подання студентом роботи:** 10.06.2022 р.

**3. Вихідні дані до роботи:** Стрілочні електродвигуни: МСТ-0.25 (схема з'єднання обмоток «зірка» Дніпровського локомотивно-вагонного депо метрополітену)

**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):**

4.1 Аналіз несправностей та методів діагностики двигунів змінного струму

4.2 Основна частина: Математична модель асинхронного трифазного стрілочного електродвигуна з короткозамкненим ротором.

4.3.Результати експериментальних досліджень.

4.4. Охорона праці при обслуговуванні стрілочних приводів метрополітену

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**

Робочі і механічна хараткеристика асинхронного двигуна. Результати експериментальних досліджень.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Аналітична частина	Профатилів В.І., доцент		
Основна частина	Профатилів В.І., доцент		

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	28.02.2022	
2	Аналіз несправностей та методів діагностики двигунів змінного струму	28.03.2022	
3	Математична модель асинхронного трифазного стрілочного електродвигуна з короткозамкненим ротором.	25.04.2022	
4	Охорона праці при обслуговуванні стрілочних приводів метрополітену	23.05.22	
5	Висновки	23.05.22	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	30.05.2022	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	13.06.2022 – 24.06.2022	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Богдан САКОВИЧ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Володимир ПРОФАТИЛОВ

\_\_\_\_\_ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Відомості про об'єм пояснювальної записки: 85 сторінок, 4 таблиць, 22 рисунок, 26 джерел літератури.

Ключові слова: діагностика, стрілочний електропривод, трифазний асинхронний електродвигун, несправність, робочі та механічна характеристики, математична модель.

Завданням даної магістерської роботи було в удосконаленні методів діагностики стрілочних електродвигунів та електроприводів за допомогою спектрального аналізу робочого струму переводу електродвигуна змінного струму.

У першому розділі здійснений аналіз несправностей, які виникають в електродвигунах змінного струму стрілочних електроприводі. Розглянуті існуючі методи і засоби контролю стану стрілочних електроприводів змінного струму.

У другому розділі удосконалена математична модель електродвигунів змінного струму. Метод визначення робочих та механічної характеристики асинхронного двигуна. Приведені результати розрахунку робочих та механічних характеристик асинхронного двигуна типу МСТ-0,25, МСТ – 0,3.

В третьому розділі приведені експериментальні дослідження несправностей в стрілочних електродвигунах змінного струму. Розроблена методика виміру робочого струму і спектрального аналізу стрілочного електродвигуна з метою визначення несправностей. Характеристики несправностей, які визначаються за спектральним аналізом кривої робочого струму електродвигуна.

В четвертому розділі розглянуті загальні вимоги безпеки при знаходженні на залізничній колії та при обслуговуванні стрілочних електроприводів.

## ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ ТА МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ДВИГУНІВ ЗМІННОГО СТРУМУ	10
1.1.Будова та несправності двигуна змінного струму стрілочного електроприводу	10
1.2. Методи контролю стану стрілочних електроприводів	15
1.3. Методи діагностики стрілочних електродвигунів	20
1.4. Висновок за розділом	23
2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ТРИФАЗНОГО СТРІЛОЧНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ	25
2.1 Рівняння електричної рівноваги обмоток асинхронного електродвигуна і їх перетворення	25
2.2. Метод визначення робочих та механічної характеристики асинхронного двигуна. Математичне моделювання	26
2.3. Результати розрахунку робочих та механічних характеристик асинхронного двигуна типу МСТ	35
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ В СТРІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНАХ ЗМІННОГО СТРУМУ	39
3.1. Розробка методики виміру робочого струму стрілочного електродвигуна змінного струму з метою визначення несправностей	39
3.2. Характеристики несправностей ,які визначаються за спектральним аналізом кривої робочого струму електродвигуна	40
3.2.1. Несправність виду «биття підшипників» аналоговою формою сигналу	41
3.2.2. Ідентифікації несправності виду "пружинність гостряків" стрілки	43

3.2.3. Ідентифікація несправності «коротке замикання в обмотці ротора» й пробій ізоляції в осередді ротору	43
3.3. Результати експериментальних досліджень	44
3.4. Висновки за розділом	49
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ДОГЛЯДІ ЗА ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СТРИЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ	50
ВИСНОВКИ	53
ЛІТЕРАТУРА	55
ДОДАТОК	58

## ВСТУП

Залізничний транспорт відіграє важливу роль у пасажирських та вантажних перевезеннях України. Важливим фактором забезпечення високої ефективності експлуатаційної роботи залізничного транспорту є скорочення часу діагностики та усунення відмов елементів системи електричної централізації. Своєчасне і якісне технічне обслуговування пристроїв управління рухом поїздів, значно підвищує надійність і безпеку роботи залізничного транспорту.

Відмови між службами залізничної дороги розподіляються нерівномірно, більша частина припадає на службу сигналізації і зв'язку - 35% від усіх відмов на залізничному транспорті. З них на системи автоблокування припадає приблизно 40% відмов, а на системи електричної централізації - 38%. У свою чергу, в системах електричної централізації (ЕЦ) 21% відмов припадає на стрілочні електроприводи та переводи (СП), що викликає затримки у русі поїздів і призводить до додаткових економічних витрат.

Основні недоліки існуючих технологій обслуговування стрілочних переводів представлені значними витратами часу, пов'язаними з переходами і великим числом ручних операцій, що виконуються обслуговуючим персоналом, неможливістю в реальному часі контролювати і виявляти явні та приховані дефекти та пошкодження. Контроль працездатності стрілочних електроприводів здійснюється за допомогою вимірювання робочої струми, струму роботи двигуна на фрикцію, опору обмоток і ізоляції та зовнішнього огляду. Таким чином, робота, пов'язана з автоматизацією контролю параметрів СП та розробкою системи дистанційного діагностування їх технічного стану, прогнозування виникнення несправностей, є актуальною науково-технічною задачею.

Мета даної дипломної роботи полягає у автоматизації діагностування стрілочних електроприводів за допомогою спектрального аналізу кривої

робочого струму статора. Цей метод не потребує спеціальних умов для реалізації, за допомогою даного аналізу можливе скорочення часу пошуку несправності, прогнозування несправності які можуть виникнути, що допоможе заздалегідь усунути проблему.

Об'єкт дослідження – автоматизована діагностика стану стрілочних електроприводів.

Предмет дослідження метод та засіб автоматизованої діагностики стану стрілочних електроприводів та стрілочного переводу.

Методи дослідження – методи спектрального аналізу сигналу (швидке перетворення Фур'є), закони Кірхгофа, матричний метод вирішення рівнянь.

Наукова новизна:

- в результаті науково-експериментальної роботи було удосконалено математична модель, яка відрізняється від існуючих більш точним визначенням первинних параметрів схеми заміщення асинхронного трифазного електродвигуна з короткозамкненим ротором;

- розроблено метод діагностики стану стрілочного електродвигуна за спектральним аналізом гармонійного складу робочого струму і характерні таким несправностям: пошкодження ротору, несоосність валів, пошкодження статора, пошкодження елементів підшипників, іскріння автоперемикача, пружність гостряків.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень можуть бути використано під час викладання дисципліни «Електричні кола і лінії залізничної автоматики».

# 1. АНАЛІЗ НЕСПРАВНОСТЕЙ ТА МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ ДВИГУНІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

## 1.1. Будова та несправності двигуна змінного струму стрілочного електроприводу

Розвиток залізничного транспорту, збільшення маси поїздів і зростання швидкостей їх руху привели до необхідності подовження станційних колій і укладанні важких типів рейок, в тому числі і на стрілках. Зросли тягові зусилля з переводу стрілок що призвело до застосування більш потужних електродвигунів стрілочних приводів, що пов'язано зі збільшенням робочого струму і необхідністю мати в кожному дроті лінійного ланцюга по дві, три і більше жив кабелю.

Поліпшення умов енергопостачання, недоліки п'ятипровідної схеми управління стрілкою з двигунами змінного струму, сучасні методи та технології обслуговування, позитивний досвід експлуатації приводів з двигунами змінного струму, особливо суворих кліматичних умовах, дозволили рекомендувати їх до широкого впровадження на всій мережі українських залізниць. Асинхронні електродвигуни трифазного змінного струму мають ряд переваг в порівнянні електродвигунами постійного струму з послідовним збудженням, які застосовуються в стрілочних приводах. Перш за все, це відсутність в асинхронних електродвигунах такого складного і малонадійний вузла, як колектор, що значно скорочує експлуатаційні витрати на поточне обслуговування та ремонт, а також виключає отримання помилкового контролю положення стрілки за рахунок випрямного ефекту дуги при іскрінні колектору.

Міжремонтний термін служби електродвигунів змінного струму в 3-4 рази більше в порівнянні з двигунами постійного струму. В даний час на залізниці

застосовуються електродвигуни змінного струму типу МСТ. До них відносяться такі електродвигуни, як МСТ-0,3; МСТ-0,3А; МСТ-0,3Б; МСТ-0,3В і МСТ-0,6; МСТ-0,6А. Асинхронні трифазні електродвигуни типів МСТ-0,3, МСТ-0,3А, МСТ-0,3Б, МСТ-0,3В встановлюються в електроприводах типу СП для переводу гостряків важких і звичайних стрілок електричної централізації; типів МСТ-0,6, МСТ-0,6А встановлюються в електроприводах типу СП для переводу гостряків стрілок в маневрових районах.

Електродвигуни змінного струму діляться на синхронні і асинхронні. Різниця між ними в тому, що в перших ротор і магнітне поле статора обертаються з однією швидкістю, а по-друге ротор обертається повільніше, ніж магнітне поле. Відрізняються вони і по влаштуванню, і за принципом роботи.

Асинхронний електродвигун (рис. 1.1) складається з : 1-вал; 2,6- підшипники; 3, 8 - підшипникові щити; 4 – лапи; 5 - кожух вентилятора; 7 - крільчатка вентилятора; 9 - короткозамкнений ротор; 10 - статор; 11 - коробка виводів. Основними частинами асинхронного двигуна є статор (10) и ротор (9) [12-16].

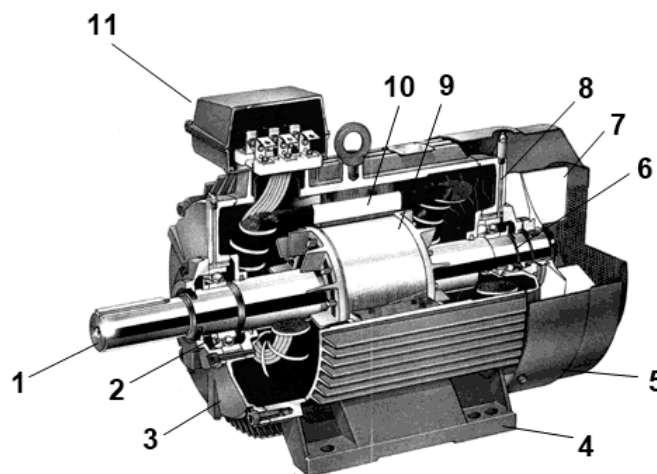


Рис. 1.1 Будова асинхронного електродвигуна

Несправності які виникають в електродвигунах можуть мати електричний чи механічний характер [1-11].

До електричних несправностей електродвигунів відносяться: обриви які виникають в обмотках ротора чи статора, короткі замикання між витками однієї котушки, між котушками чи котушковими групами одної фази, між котушками різних фаз, пробій ізоляції корпусу, розпаювання з'єднань обмотки з колектором [17-23].

Механічні несправності проявлять себе у деформації ротора або виходу його зі строю, порушенні в роботі підшипників, тріщини які виникають в підшипникових щитах чи у станині, ослаблення у кріпленні полюсів сердечнику статора до станини, обрив та сповзання дротяних кріплень ротора, тощо [1-5, 22-26].

Численні дослідження характеру ушкоджень двигуна змінного струму дозволили отримати наступні статичні дані:

- пошкодження елементів статора – 38%
- пошкодження елементів ротора – 10%
- пошкодження елементів підшипників – 40%
- інші пошкодження – 12%

Якщо сердечник статора рівномірно нагрітий то причиною може бути підвищена напруга мережі. Для нормалізації роботи необхідно понизити напругу до номінальної [1-10].

Причинами перегріву обмотки статора може бути перевантаження електродвигуна, занижена напруга мережі, з'єднання витків в обмотці статора, неправильне з'єднання виводів кінців обмоток, коротке замикання між фазами.

Частота обертання двигуна при номінальному навантаженні менше номінальної. Причини можуть бути у заниженій напрузі живлячої мережі, недостатній контакт в колі ротора чи включення обмотки зіркою на напругу 127 В. Для усунення необхідно збільшити напругу, відремонтувати ротор, увімкнути обмотку статора при напрузі мережі 127 В трикутником.

При обриві обмотки статора, у ньому не буде наводитись обертове магнітне поле, а якщо обрив виник відразу в двох фазах ротора тоді в його обмотці зникне струм, який взаємодіє з обертовим полем статора і двигун вийде з ладу. Якщо обрив обмотки виник в двигуні у момент його роботи тоді він зможе продовжити працювати з номінальним обертовим моментом, але значно знизиться швидкість обертання, а струм може підвищитись до ступеня коли виникає перегорання обмотки статора чи ротора.

Якщо обмотки двигуна з'єднані трикутником та при обриві однієї з фаз двигун почне обертатись, в цьому випадку його обмотки будуть з'єднані у відкритий трикутник через який сила струму в фазах буде не рівномірна, а швидкість обертання – нижче номінальної. Для виявлення обриву в фазах електродвигуна необхідно роз'єднати та визначити опір кожної фази.

Замикання обмотки фази на корпус можливо виявити за допомогою мегомметра після роз'єднання фаз. Виявлення місце замикання полегшується за допомогою «пропалювання». Один кінець фази прикріплюється до полюсу мережі, інший до корпусу через запобіжник величиною 30...40 А. Протікання струму через місце замикання на корпус викличе дим. Напряму необхідно підвищувати ступенево до повного пробою. Місце замикання обмотки на корпус можливо виявити за допомогою методу ділення на частини який включає в себе що мегомметром виявлена фаза яка має замикання, ділять її навпіл розпайкою між котушкови з'єднань, далі мегомметром знов виявляють несправну частину. Ділення продовжується до тих пір поки не буде виявлена дефектна котушкова група чи котушка.

Схема методу постійного струму (рис.1.2) полягає у тому, що обидва кінця фази, які мають замикання на корпус, з'єднуються між собою і до них прикріплюють один з затискачів від мережі постійного струму чи батареї акумулятору. Інший затискач джерела струму приєднують до корпусу машини. Щоб можна було обмежувати і регулювати силу струму, в ланцюг включають

реостат. Джерело постійного струму не повинен бути заземлено, а якщо один полюс його все ж заземлений, то його слід приєднати до корпусу машини [17-23].

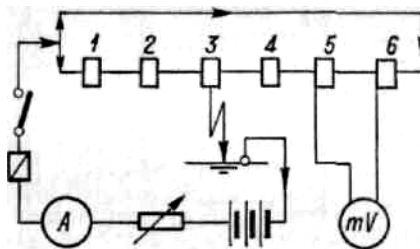


Рис.1.2. Схема для знаходження з'єднання обмотки змінного струму з корпусом

При замиканні обмотки на корпус напрямки струмів в двох частинах обмотки, розмежованих точкою замикання, будуть протилежні. Якщо по черзі дотикатись двома проводами, приєднаними до мілівольтметра, до кінців кожної котушечної групи, то стрілка приладу буде весь час відхилятися в одному напрямку до тих пір, поки кінці від приладу не минуть решту котушечної групи, замкнутої на корпус. В останньому випадку відхилення стрілки зміниться на протилежне. На кінцях дефектної котушечної групи напрямок відхилення стрілки приладу буде залежати від того, до якого кінця ближче знаходиться місце замикання на корпус. Крім того, величина падіння напруги на кінцях котушечної групи, замкнутої на корпус, буде менше, ніж у інших котушок, якщо замикання на корпус не знаходиться поблизу кінців цієї котушки. Для знаходження дефектної котушки надходять аналогічно попередньому.

На рис. 1.3 показані випадки замикання на корпус з однієї з котушок групи. Залишивши незмінною схему живлення постійним струмом, вимірюють послідовно падіння напруги попарно між точками а - б, б - в, в - г, г - д і спостерігають за напрямом відхилення стрілки приладу. Відхилення стрілки приладу в точках а і б буде протилежно відхиленню в точках в - г і г - д, в точках

же б - в напрямок відхилення буде залежати від місця знаходження корпусного замикання, а величина падіння напруги буде менше, ніж на затискачах інших котушок. Щоб виміряти падіння напруги, можна або зачистити з'єднувальні провідники, або скористатися гострими щупами, проколюють ізоляцію.

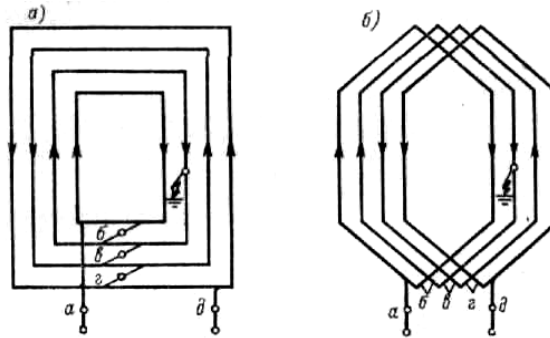


Рис. 1.3. Замикання на корпус одної з котушок групи при звичайній котушечній обмотці (а) та при двошаровій обмотці (б)

Місце замикання на корпус можна визначити і за допомогою магнітної стрілки, якщо переміщати її вздовж кожною паза; як тільки стрілка пройде повз місця замикання на корпус, вона змінить напрямок відхилення на зворотне. Цей спосіб вимагає розбирання машини. Крім того, щоб отримати хороший результат, необхідний металевий контакт в місці замикання на корпус. Цього досягають «пропалювання».

## 1.2. Методи контролю стану стрілочних електроприводів

Стрілочний привод – це один з найбільш відповідальних вузлів на залізницях в усьому світі. Тому його справність та діагностика ушкоджень має великий вплив на якість роботи залізниці, адже він служить для переведення рухомого складу з однієї колії на іншу в межах однієї станції або роздільного пункту. В залежності від місця експлуатації а так само від додаткових факторів, таких як рухомі частини які він включає в себе, механічні навантаження які

діють під час проходження складу, більше або менше впливають на працездатність та на пошкодження які виникають в електроприводах.

Електропривод (рис. 1.4) складається з: корпусу 1, електродвигуна 10, редуктора 8, блоку головного валу з автопереключателя 6, зрівняльної муфти 12, шибера 3, контрольних лінійок з приварними вушками 4, обігрівального елемента 14, в якості якого використані дротові емальовані резистори типу ПЕВ-25-56  $\pm 10$ , панелі освітлення 13, зубчастого колеса з упором 7, направляє плити 2, кожуха 5. Вал електродвигуна 10 має на одному кінці квадратний хвостик для приєднання рукоятки ручного переключу приводу вручну, а на іншому кінці вала на шпонке укріплена спеціальна муфта 12, яка одночасно з'єднується з валом-шестернею редуктора 8. Вал-шестерня і зубчасте колесо знаходяться в зачепленні через проміжну пару (вал-шестерня і зубчасте колесо - на одній осі). Вал-шестерня, розташовуючись на одному валу з зубчастим колесом, знаходиться в зачепленні з упором зубчастого колеса на головному валу. Упор зубчастого колеса заходить в виріз диска головного валу. Шиберна шестерня виконана як одне ціле з головним валом. Вона має два запірних і п'ять робочих зубів. зуби шестерні входять в зачеплення з зубами шибера, на якому є чотири робочих і два спеціальних запірних зуба [12,13].

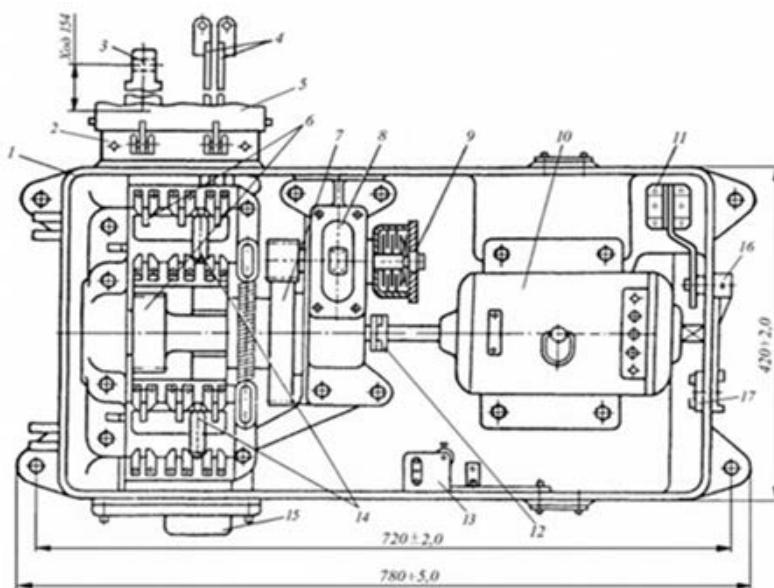


Рис. 1.4. Стрілочний електропривід типу СП-8

Найбільш характерними причинами відмов в роботі електропривода є:

- пошкодження редуктора;
- порушення роботи фрикційного зчеплення;
- заклинювання шибера з робочою шестернею;
- порушення стану контрольних тяг;
- підгоряння або порушення регулювання контактів автоперемикача;
- обмерзання контактів автоперемикача ;
- злам контактів автоперемикача;
- злам шліфта і випадання валика;
- інші відмови.

Для підвищення надійності функціонування стрілочного електроприводу (СЕР) робітники СЦБ здійснюють заходи з технічного обслуговування та ремонту, вимірювання параметрів згідно з інструкцією з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування. В дистанціях СЦБ використовуються системи технічної діагностики , завдяки яким можливо за непрямыми вимірюваннями контролювати ряд електричних параметрів роботи СЕР, наприклад: струм при переводі стрілки в СЕР с електродвигуном постійного струму, зусилля переводу в СЕР з електродвигуном змінного струму, опір ізоляції робочого ланцюга стрілки та час переводу [12].

Перевірка стану та кріплень внутрішніх частин електроприводу починається з візуальної перевірки цілісності деталей та вузлів, відсутність зламів, сколів, інших дефектів. Перевірка кріплення електродвигуна, редуктору, блоку автоперемикачів, кріплення стопорного гвинта гайки фрикційного зчеплення, ножі та контактні колодки автоперемикача. Електродвигун повинен бути закріплений так, щоб у муфті, з'єднання редуктора з електродвигуном, забезпечувався проміжок 0.5...1.2 мм та співвісність їх осей. Перевірити відсутність протікання мастила з корпусу редуктора.

Перевіряючи стан електропривода необхідно звернути увагу на цілісність монтажних проводів, наявність гайок та контргайок на контактах за допомогою ключів, надійність кріплення монтажних проводів. Надійність кріплення монтажних проводів перевіряють за відсутністю зміщення наконечника під гайкою при спробі повернути провід. Монтажний джгут повинен бути закріплений в держаках з укладанням в них додаткової ізоляції.

Перевірка правильності регулювання контрольних тяг. При переводі стрілки перевірити запирання шибера електропривода по западанню головок перемикаючих важелів у виріз головного валу, контроль положення стрілки по западанню важелів у вирізи контрольних лінійок. Між нанесеними рисками на контрольні лінійки та Т-подібною планкою повинен бути проміжок 1-3 мм. Цей проміжок відповідає зазору між скосом контрольних лінійок та зубом ножового важеля автоперемикача.

При перевірці та регулюванні автоперемикача оглянути ножі і контактні пружини автоперемикача, перевірити відсутність видимих тріщин і вибоїн в контактних колодках, відсутність нагару на контактних колодках та ножах, бруду та металевої пилі. За необхідністю почистити контактні ножі і пружини тканиною, змоченою в бензині. Шаблоном перевірити проміжок між контактними пружинами. Лінійкою заміряти глибину врубання ножів автоперемикача. Перевірити в плюсовому та мінусовому положенні. Глибина врубання ножів повинна бути не менше 7 мм. Кожна пара контактних пружин повинна віджиматися на однакову відстань відносно ножа, а ресорна пружина – на 0.7- 1,0 мм, при врубанні контактні ножі не повинні врубатись в ізолюючі колодки.

Для регулювання зусилля стиснення фрикційного зчеплення в електроприводах з трифазним електродвигуном змінного струму використовують спеціальний пристрій ПКЗСП, відрегулювати фрикційне зчеплення по струму що споживається неможливо через незначну зміну струму

при значних змінах зусилля. Якщо спеціальний прилад відсутній в дистанції сигналізації та зв'язку фрикційне зчеплення регулюють в такій послідовності. Електромеханік, зробивши запис в Журналі огляду форми ДУ-46 і погодивши час початку роботи з черговим по станції повинен відкрити СЕП. Далі регулювальну гайку фрикційного зчеплення необхідно відпустити до положення, при якому електропривід працює на фрикцію, а стрілка не переводиться через недостатнє зусилля. Після цього регулювальну гайку фрикційного зчеплення ступенево підтягують до положення, при якому стрілка переводиться нормально без спрацьовування фрикційного пристрою, при цьому вимірюють струм який споживає електродвигун та час переводу. Значення струму переводу фіксують амперметром який знаходиться на пульті у чергового. Час переводу стрілки заміряють ручним секундоміром з моменту початку переводу до виключення електродвигуна. Час переводу стрілок з електродвигунами МСТ-0,3-110/190 повинно бути не більше ніж 4,5 с, з двигунами МСТ-0,6-110/190 – не більше ніж 2 с. Напруга на двигунах повинна бути не менше 190 В, струм двигуна МСТ-0,3-110/190 повинен бути не більше 2,1А, двигуна МСТ-0,6-110/190 – не більше 2,8 А ( при з'єднанні обмоток зіркою) [13].

Оскільки фрикційне зчеплення під час приробітку може ослабнути, то в кінці регулювання гайку зчеплення слід підтягнути на 1-2 ступеня. Після закінчення регулювання слід перевірити, що при закладеному між гостряком та рамною рейкою шаблону електродвигун працює на фрикцію.

Заміна мастила фрикційної муфти електроприводів, як правило виконують у вільний від руху поїздів час або в технологічні вікна зі згоди чергового по станції і записом у журнал.

Стрілку у випадку необхідності переводять в інше положення згідно з правилами Інструкції з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні технічного обслуговування та ремонту пристроїв СЦБ. Після прибуття на

стрілку електромеханік відкриває кришку електропривода та при виключеному курбельному контакті відключає та знімає електродвигун, розбирає фрикційну муфту. Розбірку та промивку фрикції електроприводів СП-2, СП-3 виконують без зняття редуктора з електроприводу. Деталі фрикційного зчеплення розкладають згідно з чергою зняття. З дисків та внутрішніх частин корпусу фрикції технічним лоскутом спочатку видаляють старий мастильний матеріал, а після цього промивають керосином чи солярою, перевіряють їх цілісність відсутність зламів, «раковин», а також чистоту мастильних канавок.. Після цього диски опускають в рідке мінеральне масло, дають деякий час щоб мастило стекло. Внутрішні частини корпусу фрикційного зчеплення також змащуються мінеральним мастилом [12,13].

Далі фрикційну муфту збирають та регулювальну гайку закріплюють у положенні, у якому вона знаходилась до розбирання. Після закінчення збірки фрикційного зчеплення, установки електродвигуна в електропривід та підключенні монтажних проводів перевіряють роботу електропривода, а такж струм при нормальному переводі і при роботі електропривода на фрикцію. Струм при цьому слідє встановити на 0,2 – 0,3 А більше, враховуючи, що після приробітку фрикційний струм знизиться на це значення.

### **1.3. Методи діагностики стрілочних електродвигунів**

Оскільки на залізницях України велика кількість централізованих СП, технологія обслуговування, яка була вказана раніше, крім основних недоліків також тягне за собою значні експлуатаційні витрати. Для ефективного обслуговування СП а також зменшення витрат, виникає необхідність автоматичного контролю параметрів СП, безперервного контролю їх технічного стану, виявлення і визначення елемента в якому сталася несправність [1-11].

Однією з технологій діагностики яка дозволяє заздалегідь спрогнозувати яка з деталей може вийти зі строю в електродвигуні, або вчасно зафіксувати несправність – це технологія діагностики електродвигунів на основі моніторингу споживаючого струму з послідуочим виконанням спектрального аналізу. Принцип який використовується при діагностиці полягає у тому, що при виникненні будь яких змін в роботі електричної чи механічної частини електродвигуна призводять до зміни магнітного потоку в зазорі електричної машини що призводить до слабої модуляції споживаючого струму електродвигуна [17-20].

Таким чином, якщо у спектральному аналізі струму електродвигуна є частоти які не притаманні його нормальній роботі то можна зробити висновок про наявність несправностей зв'язаних з механічною або електричною частиною електродвигуна, або зв'язанного з ним механічного пристрою.

За допомогою цього методу можлива діагностика таких несправностей. Пошкодження ротора двигуна (дефекти при виробництві, ослаблення кріплення стержнів до контактних кілець). Це пошкодження можливо виявити за допомогою двох симетричних відносно частот живлячої мережі піків у спектрі струму ( рис 1.5.). Неспівосність валів двигуна та механічного навантаження - можливо визначити за допомогою частот кратним частоті обертання ротора (рис.1.6).

Виткові замикання в обмотках статора визначають за частотою живильної мережі. Ослаблення кріплення електродвигуна, зачеплення ротора за статор двигуна можливо визначити за допомогою частоти кратної  $\frac{1}{2}$  частоти обертання. Аналогічно можливо виявити наявність інших дефектів.

Для швидшого виявлення несправностей можливе формування бази даних, яка може дозволити відслідкувати динаміку розвитку пошкоджень електродвигуна при експлуатації. Оскільки асинхронні двигуни чутливі до якості електроенергії яку вони споживають, то для повного аналізу умов роботи

машини необхідно проводити аналіз напруги прикладеної до електродвигуна. Це дозволяє визначити несиметрію, наявність вищих гармонічних складових та імпульсів перенапруги у живлячій мережі, які можуть негативно впливати на безперебійну роботу електродвигуна[12, 17-23].

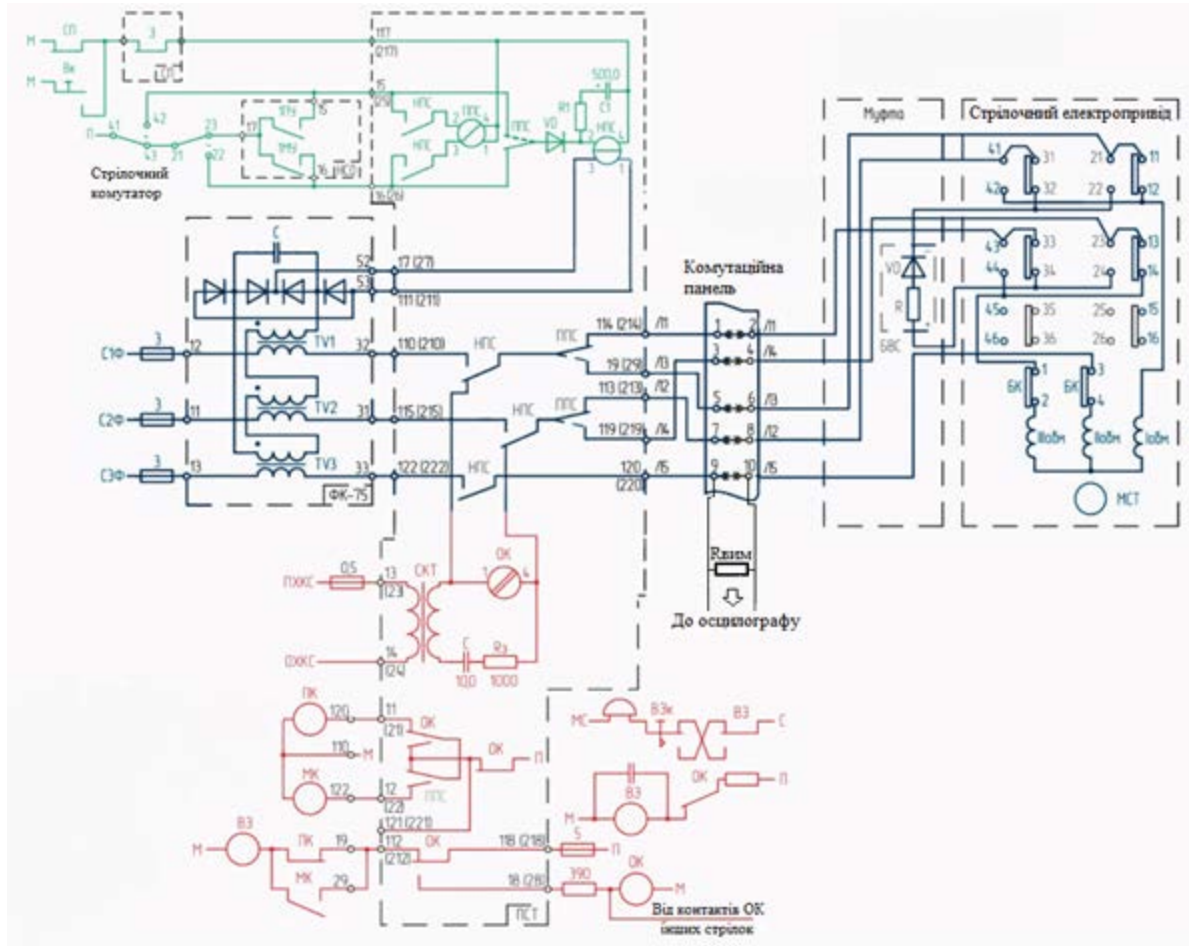


Рис. 1.5. Схема підключення вимірювального пристрою до п'ятипровідної схеми управління стрілкою

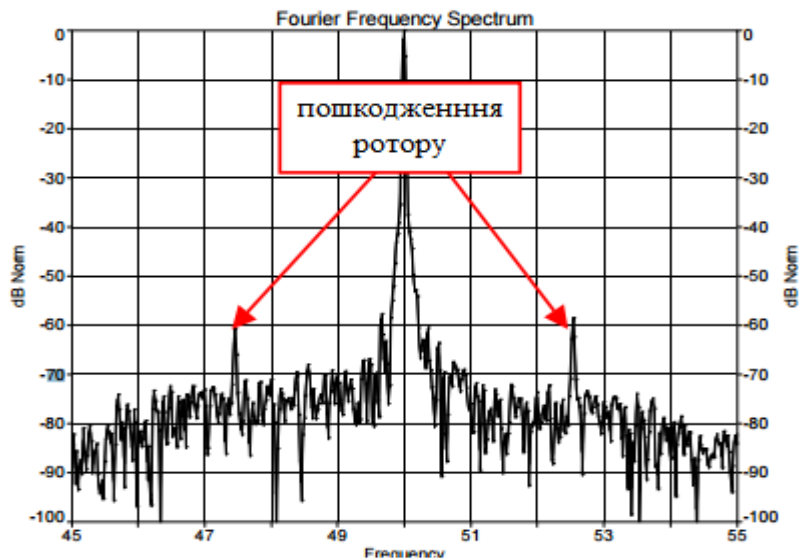


Рис. 1.6. Пошкодження ротору двигуна

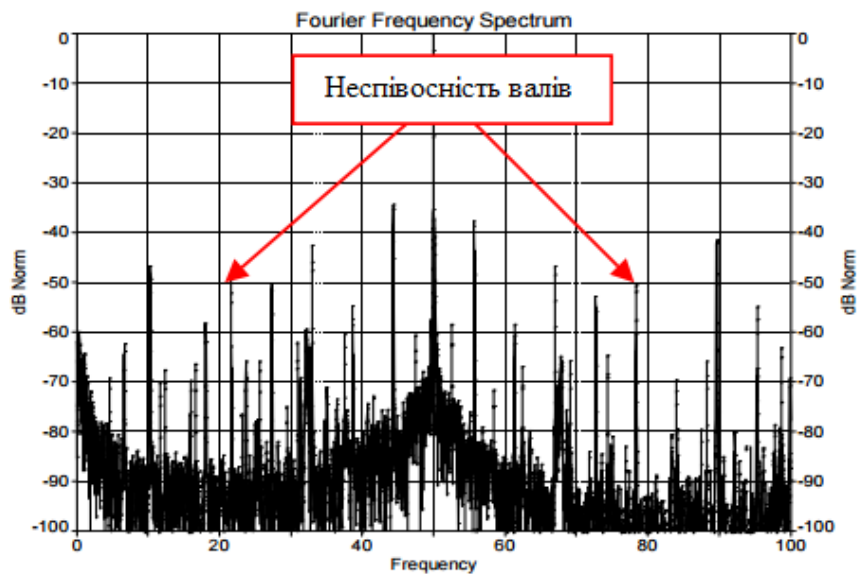


Рис. 1.7. Неспівосність валів

#### 1.4 Висновок за розділом

Основні недоліки існуючих технологій обслуговування стрілочних переводів представлені значними витратами часу, пов'язаними з переходами і великим числом ручних операцій, виконуваних обслуговуючим персоналом, неможливість в реальному часі контролювати і виявляти явні і приховані дефекти і пошкодження. Контроль працездатності стрілочних електроприводів

здійснюється за допомогою вимірювання робочого струму, струму роботи двигуна на фрикцію, опору обмоток та ізоляції і зовнішнього огляду. Таким чином, технологія автоматизації контролю параметрів СП і розробка системи дистанційного діагностування їх технічного стану, передбачення виникнення несправностей, є актуальною науково-технічною задачею.

Запропонований метод діагностики двигунів стрілочних електроприводів змінного струму і стрілочних переводів, заснований на спектральному аналізі кривої робочого струму статора – є технічним рішенням контролю стану електроприводів змінного струму. За допомогою цього методу можливо не тільки виявити несправність, а й прослідкувати за зміною параметрів в електроприводі які сприяли для виникнення цієї несправності, що дозволить завчасно звернути увагу на елемент який потрібно буде замінити, ще до того як він вийде зі строю та потягне за собою виникнення відмови.

## 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ТРИФАЗНОГО СТІЛОЧНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

### 2.1 Рівняння електричної рівноваги обмоток асинхронного електродвигуна і їх перетворення

При записи відповідно до другого закону Кірхгофа і законом Фарадея рівнянь електричної рівноваги обмоток  $m$ -фазної асинхронної електричної машини ( $m \geq 2$ ) і наступних координатних перетвореннях приймаються наступні основні допущення:

- активні опори фазних обмоток статора ( $R_s$ ) однакові;
- геометричні осі фаз синусоїдально розподіленої обмотки статора рознесені на кут  $(\frac{2\pi}{(mp)n})$  п , де  $mp$  - число пар полюсів; виняток становить

випадок  $m = 2$ , в якому даний кут дорівнює  $\frac{\pi}{(2p)n}$ ;

- біляча клітина машини з короткозамкненим ротором може бути еквівалентірована  $m$ -фазної синусоїдально розподіленої обмоткою;

- всі  $m$  фазних обмоток ротора машини (або  $m$  еквівалентних фазних обмоток ротора) мають однакові активні опори  $R_r$ , число пар полюсів  $mp$ , і геометричний кут між їх осями дорівнює куту між осями фазних обмоток статора;

- всі параметри ротора приведені до обмотці статора. Зауважимо, що при моделюванні систем частотно-регульованого асинхронного електроприводу ефектом витиснення струмів в короткозамкненим роторі АД зазвичай нехтують, оскільки частота струмів ротора (частота ковзання) в них обмежена робочим ділянкою механічної характеристики двигуна і майже не позначається на величині  $R_r$ .

Разом з тим необхідно враховувати, що активні опори статора і ротора повільно змінюються в часі разом з тепловим режимом електричної машини, і діапазони цих змін можуть досягати 40% від номінальних значень  $R_s$  і  $R_r$ . Відповідно до прийнятих допущеннями рівняння електричної рівноваги обмоток асинхронного двигуна (в загальному випадку з фазним ротором) мають вигляд

$$u_{sk} = R_s i_{sk} + \frac{d\psi_{sk}}{dt}, k = \overline{1, m}, \quad (2.1)$$

$$u_{rk} = R_r i_{rk} + \frac{d\psi_{rk}}{dt}, k = \overline{1, m}, \quad (2.2)$$

де  $u_{sk}, i_{sk}, \psi_{sk}, u_{rk}, i_{rk}, \psi_{rk}$  - миттєві значення напруг, струмів і повних потокозчеплень  $k$ -их фазних обмоток статора і ротора машини (зрозуміло, що для двигуна з короткозамкненим ротором  $u_{rk} = 0$ ).

## 2.2. Метод визначення робочих та механічної характеристики асинхронного двигуна. Математичне моделювання

Знання точних значень багатьох параметрів схеми заміщення асинхронних двигунів, наприклад, активних і реактивних опорів статора, ротора і кола, що намагнічує є необхідними для визначення робочих і механічних характеристик асинхронного двигуна.

Ці параметри в більшості довідників не приводяться, чи приводяться не повністю або є недостатньо точними. Крім того, через порушення технологічного процесу, різних технологій на різних заводах-виробниках, паспортні параметри машини можуть відрізнятися від довідкових даних на 10...20%. Отже, виникає необхідність знання точних параметрів двигуна для аналізу працездатності даного приводу. Ця ж задача стоїть і у виробників

двигунів, оскільки комерційна цінність двигуна забезпеченого індивідуальним паспортом набагато вище. Основні параметри електродвигунів МСТ вказані в табл. 2.1.

Відомий ряд методів експериментального визначення параметрів асинхронних машин [20-24]. Розглянемо схему заміщення асинхронного двигуна наведену на рис.2.1 [14-16].

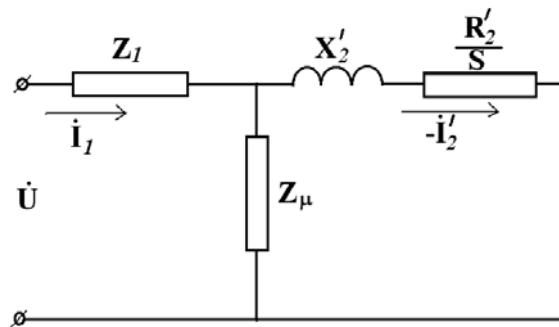


Рис. 2.1. Схема заміщення асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором

Таким чином, існує можливість ідентифікації всіх параметрів асинхронного двигуна, якщо відомі повний опір кола обмотки при загальмованому роторі  $Z_{II}$ , і величина:

$$S_{k.o.} = \frac{r_2'}{x_\mu + x_2'} \quad (2.3)$$

де  $r_2'$ - приведений активний опір обмотки ротору;  
 $X_m$ - індуктивний опір кола намагнічення;  
 $X_2'$ - приведений індуктивний опір обмотки ротору  
 При нерухомому роторі ( $s=0$ ) повний опір обмотки визначається виразом:

$$Z_{II} = r_{II} + jX_{II} = r_1 + jX_1 + \frac{jX_\mu(r_2' + jX_2')}{r_2' + j(X_\mu + X_2')} \quad (2.4)$$

## Характеристики стрілочних електродвигунів змінного струму

Характеристика	МСТ-0,25	МСТ-0,3	МСТ-0.3А	МСТ-0.3Б	МСТ-0.3В	МСТ-0,6
Напруга, В	220/127	190/110	330/190	380/220	220/127	190/110
Потужність, Вт	200	300	500	500	500	600
Споживаний струм А, не більше	1,4/2,4	2,1/3,3	1,2/2,1	1,7/2,35	2,3/1,7	2,8/4,85
Швидкість обертання, об/хв	1250 ±10%	850+5%	850+5%	1370±5%	1370±5%	2850±10%
Обертаючий момент, Нм(кгс-м)	1,57	3,43 (0,35)	3,43 (0,35)	3,47 (0,35)	3,47 (0,35)	2,37
Частота, Гц	50	50	50	50	50	50
ККД, %, не менш	59	66	69	69	69	69
cos φ	0,78	0,72	0,72	0,74	0,74	0,84
Кратність пускового моменту, не менш	1,7	1,7	1,7	3,5	3,5	

звідки

$$r_{II} = r_1 + \frac{r'_2 \left( \frac{X_\mu}{X_\mu + X'_2} \right)^2}{s_{k.o.}^2 + 1} \quad (2.5)$$

$$X_{II} = X_1 + \frac{X_\mu \left( s_{k.o.}^2 + \frac{X'_2}{X_\mu + X'_2} \right)}{s_{k.o.}^2 + 1} \quad (2.6)$$

Алгоритм автоматизованого визначення параметрів машини:

1. На “холодному двигуні” вимірюється омичний опір статора.

2. Потім вал затискається (фіксується) і проводиться опит короткого замикання, в якому визначається повний опір машини. Після зняття напруги з клем машини ротор звільняється.

3. Двигун запускається без навантаження і вимірюються параметри контура, що намагнічує [16,17].

4. Нарешті, двигун пускають в трифазному режимі і відключають дві з них. Змірявши швидкість обертання валу в режимі з обривом фаз обчислюється допоміжний параметр  $s_{k.o.}$ , через який знаходяться інші.

В процесі експерименту були проведені наступні вимірювання.

Вимірювання омичного опору обмотки фази статора випробовуваного асинхронного електродвигуна за допомогою омметра при відключеному живленні. Таким чином одержуємо активний опір статора .

Проводиться опит короткого замикання при загальмованому роторі і номінальній напрузі живлення. При цьому вимірюються напруга  $U_k$ , струм  $I_k$  і споживана машиною потужність  $P_k$ . За даними опиту короткого замикання визначають активний, індуктивний і повний опір робочого контура спрощеної схеми заміщення:

$$r_{II} = r_1 + r_2' = \frac{P_k}{3I_k^2} \quad (2.7)$$

$$X_k = X_1 + X_2' = \sqrt{(Z_k^2 - r_k^2)} \quad (2.8)$$

Проводився нормальний пуск асинхронного електродвигуна без навантаження при  $U_{\phi} = U_{ном}$  і опит холостого ходу. Для цього був вимірянний струм холостого ходу  $I_o$ , напруга  $U_o$  і потужність  $P_o$ , споживана машиною. Тоді параметри контура схеми заміщення, що намагнічує:

$$r_{\mu} = \frac{P_o}{3I_o^2} \quad (2.9)$$

$$X_{\mu} = \sqrt{Z_{\mu}^2 - r_{\mu}^2} \quad (2.10)$$

4. Враховуючи, що роздільне визначення індуктивних опорів статора і ротора пов'язано з великими труднощами, на практиці звичайно приймають їх рівними.

В процесі перетворення електричної енергії в механічну існує баланс потужностей енергії.

$$P_{эм} = F \cdot n = E \cdot I \quad (2.11)$$

де  $E \cdot I$  - електромагнітна потужність,  $F \cdot n$  - механічна потужність;  $n$  - швидкість обертання ротора. В асинхронних двигунах напруга в мережі  $U \cong E$  і струм статора  $I$  зсунуті по фазі на кут  $\phi$ , тому

$$P_{ем} = m \cdot U \cdot I \cdot \cos \phi, \quad (2.12)$$

де  $m$  - число фаз роторної обмотки.

Механічну потужність зручно виразити через обертаючий момент  $M$  і кутову швидкість  $\Omega$ . Тоді слідує рівність

$$P_{ем} = mUI \cos \phi = 9,8M\Omega, \quad (2.13)$$

де  $\Omega = \frac{2\pi n}{60}$ ,  $n$  - число обертів ротору,  $M$  - момент виражений в кГм

( $1\text{кГм}=9,81 \text{ Дж}=9,81 \text{ Н.м.}$ ). Роторні обмотки двигуна підрозділяють на два типи: короткозамкнені і з контактними кільцями. В двигунах типу МСТ використовуються короткозамкнені обмотки, виконані у вигляді білячої клітки.

Електромагнітні процеси в асинхронному двигуні багато в чому аналогічні процесам в трансформаторі. В режимі холостого ходу - статор знаходиться під дією номінальної напруги, а струм в обмотці ротора відсутній. Це може бути лише у разі обертання ротора по напрямку обертання поля статора з синхронною швидкістю, тобто коли  $S = 0$ .

На рис.2.1. дана еквівалентна схема заміщення асинхронного двигуна [14-16].

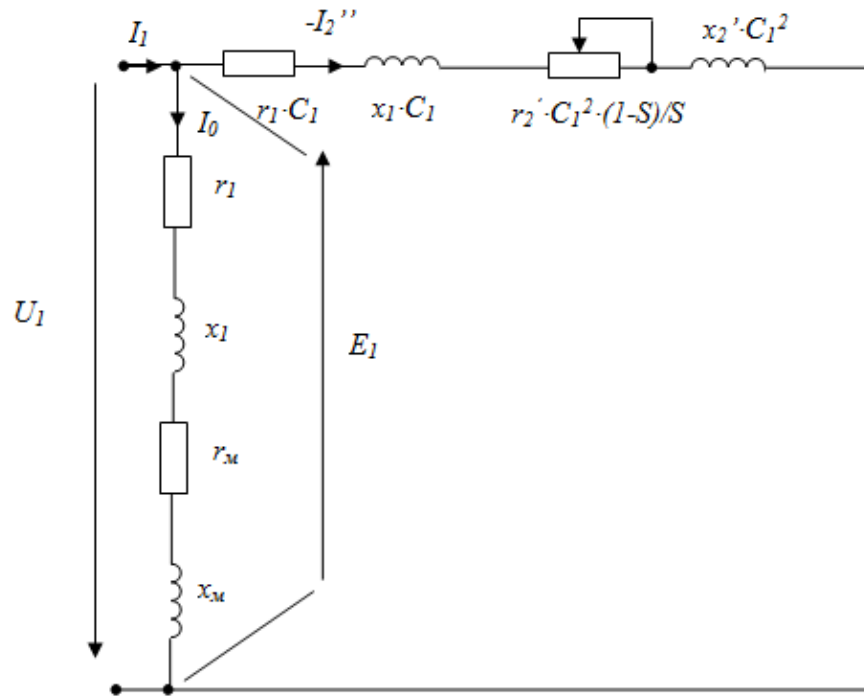


Рис.2.1. Еквівалентна схема заміщення асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

Коло приведенного струму ротора  $I_2'$  містить активні опори обмоток  $r_1$ ,  $r_2'$  - активні опори обмоток статора і ротору,  $x_1$ ,  $x_2'$  - індуктивні опори обмоток статора і ротора; коло, що намагнічує, представлена опорамі  $r_m$ ,  $x_m$ ,  $r_1$ , та  $x_1$ . З схеми заміщення виходить, що струм [15-17]

$$I_2^1 = \frac{U_1}{(r_1 + r_2' + \frac{1-s}{s} r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2} \quad (2.14)$$

Видно, що у момент пуску  $t = t_{\text{пуск}}$ ,  $S=1$ , а струми в обмотці ротора і в обмотці статора мають максимальне значення (в трансформаторі це відповідає режиму КЗ), оскільки опір  $R_{\text{д}}^1$  який імітує навантаження, дорівнює нулю.

Електромагнітний момент обертання двигуна, що виникає в результаті силової взаємодії полів статора і ротора [14 -16]

$$M = \frac{P_{\text{эм}}}{9,81\Omega_1} = \frac{P_{2\text{э}}}{S\Omega_1 9,81} = C_m \Phi I_2^1 \cos \varphi \quad (2.15)$$

де  $I$  – струм, пропорційний робочому потоку і активній складовій струму ротора  $I_{2S} = I_2^1 \cos \varphi_2$ , де  $S = \frac{\Omega_1 - \Omega_2}{\Omega_1}$ ,  $P_{2\phi} = m_1 I_2^1 r_2^1$  – потужність втрат в обмотці ротора,  $\Omega_1, \Omega_2$ - частоти обертання поля статора і ротора. Механічний момент  $P_{\text{мех}} = \Omega_2 \cdot M_T$ , де  $M_T$  - гальмівний момент. Формулу (3.7) можна записати у такому вигляді:

$$M = \frac{m_1 r_2 U_1^2}{9,81 S \Omega_1 \left[ \left( r_1 + \frac{r_2^1}{S} \right)^2 + (x_1 + x_2^1)^2 \right]} \quad (2.16)$$

Таким чином залежність (3.8) називається механічною характеристикою асинхронного двигуна. Видно, що  $M$  залежить від квадрата напруги  $U_1^2$  прикладеної до обмотки статора, що характеризує чутливість моменту до змін напруги живлячої мережі. З другого боку, з рівняння (2.2) можна показати, що момент  $M$  при незмінних  $U_1$  і  $f_1$  є величина постійна, не залежна від активного опору ротора.

Критичний плин це такий, при якому двигун розвиває максимальний момент. Він може бути визначений за формулою [15-17]

$$S_{\text{кр}} = \pm \frac{r_2^1}{x_1 + x_2^1} \quad (2.17)$$

Механічна характеристика може бути розрахована за практичною формулою Клосса, яка дозволяє визначити залежність відносного моменту від плинну

$$\frac{M}{M_{\text{max}}} = \frac{2}{\frac{S_{\text{кр}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{кр}}}} \quad (2.18)$$

В перший момент часу  $n=0$ ,  $S=(n_1-n)/n_1 = n_1/n_1=1$ . Таким чином пусковий момент не максимальний і дорівнює

$$M_{\text{пуск}} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2^1}{\Omega_1 \cdot ((r_1 + r_2^1)^2 + (x_1 + x_2^1)^2)} \quad (2.19)$$

Плин  $S=0$ , якщо  $n_1 = n$ , тобто не буде перетину магнітного поля статора і ротора. В цей час ЄРС  $E_2$  і струм ротора  $I_2$ , а значить і момент на валу ротора  $M$  будуть дорівнювати 0.

Коли  $S < S_{кр}$  у формулі (2.24) чисельник переважає знаменник ш крива йде догори, а при  $S > S_{кр}$  навпаки знаменник переважає чисельник, то крива механічної характеристики йде додолу.

Максимальний момент може бути визначений як

$$M_{\max} = \frac{m_1 \cdot U_1^2}{2 \cdot \Omega_1 \cdot (x_1 + x_2')}, \quad (2.20)$$

Для оцінки робочих властивостей асинхронного двигуна і ступеня його придатності для роботи треба знати його робочі характеристики, які являють собою залежність моменту  $M$ , струму статора  $I_1$ , коефіцієнта корисної дії  $\eta$ , плин  $S$  і коефіцієнта потужності  $\cos \phi$  від корисної потужності  $P_2$  при номінальній напрузі і частоті живлячої мережі. Залежності можуть бути побудовані шляхом прямих вимірювань величин, що цікавлять, при різних навантаженнях двигуна або розраховані [1].

Залежність  $n(P_2)$  зветься жорсткою характеристикою. При роботі двигуна в режимі холостого ходу  $P_2=0$ , а ротор буде обертатися зі швидкістю  $n \approx n_1$ . По мірі збільшення навантаження швидкість буде падати, а плин  $S$  зростати. Для звичайних асинхронних двигунів  $S_{\text{ном}}=0,015 \dots 0,06$ , а для двигунів стрілочних електроприводів типу МСТ  $S_{\text{ном}}=0,18$ . Це зроблено для збільшення пускового моменту.

Залежність  $M(P_2)$  зростає із зростанням  $P_2$ . Оскільки швидкість обертання ротору практично міняється мало, то момент на валу ротору буде пропорційний потужності  $P_2$ .

Хід кривої  $I_1(P_2)$  відповідає рівнянню (2.6), якщо рахувати  $I_1 \approx I_2^1$ . При роботі вхолосту ( $M_r=0$ ) ротор обертається приблизно з синхронною швидкістю  $n_1$ , а двигун споживає великий струм  $x_x$ , який складає 25...75% від

номінального. Із зростанням навантаження збільшується струм в роторі  $I_2$  і струм  $I_1$  в обмотці статора.

Характеристика коефіцієнта потужності  $\cos \phi$  ( $P_2$ ) показує, що у міру зростання навантаження на валу двигуна відношення активної потужності  $P_1$ , яка споживається з мережі, до повної потужності  $S$  зростає

$$\cos \phi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}}, \quad (2.21)$$

де  $Q_1$  - реактивна потужність в обмотці статора. Ця потужність при роботі машини в режимі хх - максимальна, а  $\cos \phi = \min = 0,08 \dots 0,2$ .

При навантаженні швидкість обертання ротора падає, потужність  $P_1$  росте,  $\cos \phi$  зростає до  $0,75 \dots 0,95$ , а реактивна потужність  $Q_1$  росте у меншій мірі, ніж  $P_1$ ). Із зростанням плин зростання  $\cos \phi$  сповільнюється, оскільки зростає потужність  $Q_1$  за рахунок посилення полів розсіяння, які пропорційні струмам.  $\cos \phi$  двигуна, що працює з недовантаженням, можна збільшити зниженням в  $\sqrt{3}$  раз напруги фазних обмоток статора шляхом перемикавання обмоток статора, якщо це допустимо, з трикутника на зірку.

Залежність  $\eta(P_2)$ . Коефіцієнт корисної дії  $\eta = \frac{P_2}{P_1}$  показує відношення корисної потужності до витраченої. При хх  $P_2=0$ , тому  $\eta=0$ . Форма кривої ККР буде залежати від величини втрат. Зі збільшенням  $P_2$  струм  $I_2$  і плин  $S$  будуть зростати. Але на початку  $I_2$  і  $S$  будуть малими. При значних навантаженнях величина плин буде збільшуватись, тому втрати теж будуть зростати, а крива почне схилитися донизу.

Пуск в хід двигуна, як вже відзначено вище, супроводиться значним споживанням з мережі електроенергії, що в малопотужних мережах може викликати небажане для роботи інших приймачів тимчасове пониження напруги (наприклад перекриття сигналів світлофорів на забороняючи). Тому вживаються різні технічні заходів, які знижують наслідки такого явища.

Наприклад, збільшення активного опору ротора, застосування спеціальної конструкції короткозамкненого ротора та таке інше.

### 2.3. Результати розрахунку робочих та механічної характеристик асинхронного двигуна типу МСТ

За допомогою метода описаного (формули (2.6 – 2.27), [5 , 15-17, 24-26]) вище визначили:

$$I_o=1,36 \text{ А} \quad U_o=127 \text{ В} \quad \cos \phi_o=0.18$$

$$I_k=3,84 \text{ А} \quad U_k=127 \text{ В} \quad \cos \phi_k=0.4$$

$$r_1=11 \text{ Ом}$$

$$\Omega_o=1500 \text{ об/хв} \quad \Omega_{х.о.} = 1460 \text{ об/хв}$$

Визначимо опори асинхронної машини в режимі короткого замкнення при загальмованому роторі

$$r_{II} = \frac{3,84 \cdot 127 \cdot 0,4}{3,84^2} = 13,3 \text{ Ом}$$

$$Z_{II} = 127/3,84=33 \text{ Ом}$$

$$X_{II} = \sqrt{Z_{II}^2 - r_{II}^2} = \sqrt{33^2 - 13,3^2} = 30,3 \text{ Ом}$$

Визначимо опори намагнічування асинхронної машини

$$Z_M = \frac{U_o}{I_o} = \frac{127}{1,36} = 93,3 \text{ Ом}$$

$$r_M = \frac{1,36 \cdot 127 \cdot 0,2}{1,36^2} = 16,8 \text{ Ом}$$

$$X_M = \sqrt{Z_M^2 - r_M^2} = \sqrt{93,3^2 - 16,8^2} = 91,7 \text{ Ом}$$

Визначимо коефіцієнт  $s_{k.o.}$

$$V_{ko} := \frac{1460}{1500} \quad V_{ko} = 0.973$$

$$S_{ko} := \sqrt{1 - V_{ko}^2}$$

$$S_{ko} = 0.229$$

Знайдемо індуктивний опір обмоток статора і ротора  $X=X_1=X_2'$  і активний опір ротору  $r_2'$

$$(r_k=r_{\pi} = 13,3 \text{ Ом}, X_k=X_{\pi}=30,3 \text{ Ом})$$

$$X := \frac{(r_k - r_l)}{S_{ko}} \cdot \left( \frac{X_k \cdot S_{ko}}{r_k - r_l} + 1 \right) \cdot \left( 1 - \sqrt{\frac{S_{ko}^2 + 1}{\frac{X_k}{r_k - r_l} \cdot S_{ko} + 1}} \right) \quad X = 19.794 \quad \text{Ом}$$

$$r_2 := (r_k - r_l) \cdot \left( X_k \cdot \frac{S_{ko}}{r_k - r_l} + 1 \right)$$

$$r_2 = 9.183 \quad \text{Ом}$$

Розрахуємо робочі та механічні характеристики асинхронного двигуна типу МСТ-0,25. Для розрахунку робочих та механічних характеристик будемо використовувати Г-подібну схему заміщення (рис.2.1).

Розрахунки виконано в MathCad. Програму і результати наведено у додатку А. Робочі й механічні характеристики наведено на рис. 2.3, 2.4.



Рис.2.2. Механічна характеристика асинхронного двигуна МСТ-0.25

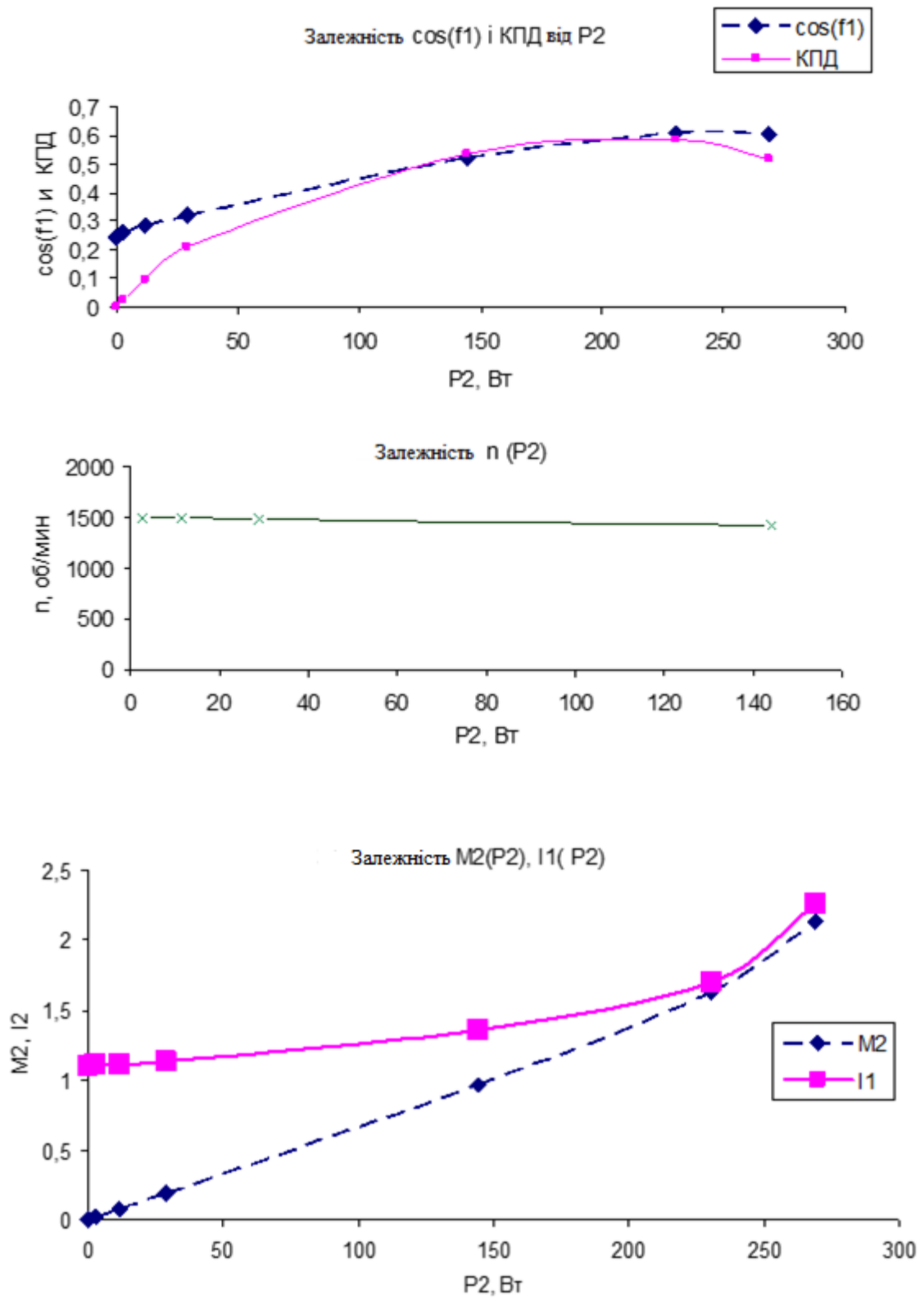


Рис 2.3. Робочі характеристики асинхронного двигуна типу МСТ – 0.25

Таким чином, даний метод ідентифікації параметрів трифазних асинхронних двигунів необхідний при визначенні працездатності приводів. Розглянута теорія і запропонована методика визначення параметрів схеми заміщення трифазних асинхронних двигунів. Розроблена методика була опробувана на трифазному асинхронному короткозамкнутому електродвигуні серії МСТ-0,25 з номінальною потужністю 0,25 кВт. Отримані результати були порівняні з достовірними довідковими даними на цю машину і відхилення результатів не перевищували 5%.

### **3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ В СТРІЛОЧНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНАХ ЗМІННОГО СТРУМУ**

#### **3.1. Розробка методики виміру робочого струму стрілочного електродвигуна змінного струму з метою визначення несправностей**

Дослідження кривих робочого і пускового струму стрілочних електроприводів змінного струму з двигунами типу МСТ-0,3, які встановлені в локомотивному депо Дніпровського метрополітен. Тип рейок на станції Р50, марка хрестовини стрілки 1/6. Вимірювання кривих робочого струму переводу стрілки здійснювались у кросовому приміщенні.

Інструменти для виміру: осцилограф фірми Oscill, комп'ютер з програмним забезпеченням XP/W7/8/9/10, вимірювальний шунт, який дозволяє вимірювати струм 0...5 А, комп'ютерна програма (<http://oscill.com>) для спектрального аналізу і запису сигналу, вимірювальні кліщі або амперметр для контролю робочого струму стрілки.

Послідовність виконання вимірювань.

1. Увімкнути комп'ютер чи ноутбук та запустити програму Oscill.
2. Під'єднати USB кабель осцилографу до комп'ютера, після чого натиснути кнопку Connect для початку запису сигналу. Пристрій працює в режимі осцилографу. Впевнитись, що програма почала приймати сигнал.
3. Вибрати частоту дискретизації сигналу і відповідно ціну поділки по осі часу (мкс/div), величину однієї поділки по осі напруги (mV/div). Налаштувати необхідні для виміру фільтри.
4. В кросовому приміщенні одну з перемичок стрілки, як показано на рис. 1.7. Необхідно витягнути дужку та вставити замість неї вимірювальний шунт, паралельно до якого підключений цифровий осцилограф і комп'ютер.

5. За умовою узгодження дій з черговою по станції (ДСП) перевести обрану стрілку в крайнє положення. При цьому за допомогою вимірювальних кліщів або амперметра визначити робочий струм переводу стрілки. Одночасно записати сигнал, відповідний робочому струму переводу стрілки.

6. Зберегти файл для подальшого аналізу сигналу робочого струму.

7. Здійснити спектральний аналіз сигналу з метою визначення несправностей в стрілочному електроприводі чи стрілочному переводі.

8. За встановленим спектральним складом робочого струму електродвигуна визначити ймовірні несправності. Встановити причини завад.

## **3.2. Характеристики несправностей ,які визначаються за спектральним аналізом кривої робочого струму електродвигуна**

### **3.2.1. Несправність виду «биття підшипників» аналоговою формою сигналу**

Однієї з можливих несправностей, що виникають у двигунах стрілочних приводів, є "перегрівання підшипників". Нагрівання підшипників можливе через забруднення пилом, відсутність змащення, підвищеного тертя між сальником і валом, відсутності осьового люфту, необхідного для компенсації температурного подовження вала, зношування або руйнування підшипників. Руйнування підшипників можливо через їхнє биття [1-11, 17-23].

Ідентифікація несправності виду "биття підшипників" здійснюється по кривій робочого струму, шляхом розкладання її в ряд Фур'є. Цьому виду несправності характерна поява в спектрі гармонійних складових низької частоти (від 10 до 150 Гц кратних 10 Гц) амплітудою 0,5...0,8 А при робочому струмі двигуна 1...3 А. До того ж несправність виду «биття підшипників» веде до збільшення часу переводу стрілки на 20...30 %. Форма кривої струму приведена на рис. 3.1.

Робочий струм переводу  
стрілки  $i$ , А

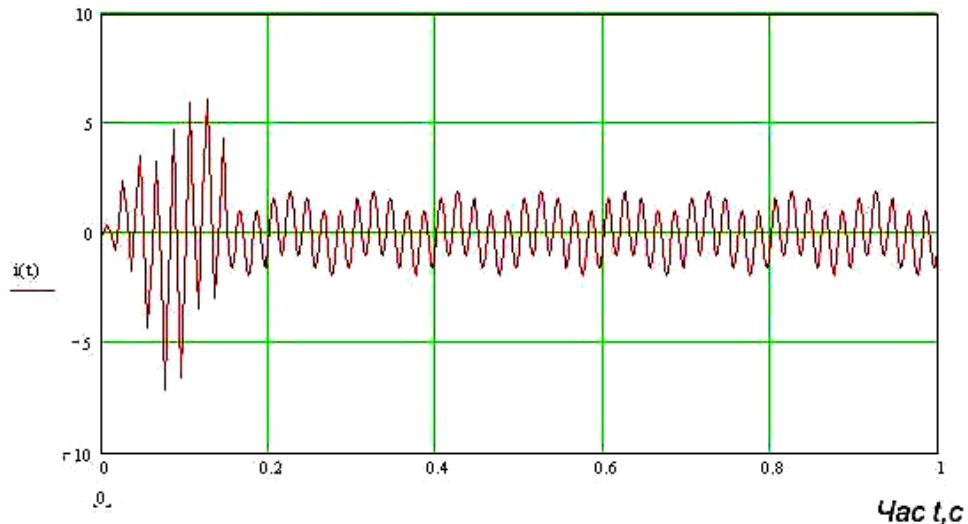


Рис. 3.17. Форма кривої амплітуди робочого струму двигуна у разі биття підшипників

Алгоритм визначення несправності виду "биття підшипників" наведений на рис. 3.1. Тут використані наступні позначення:

$\Delta I_{\text{ел}}$  - амплітуда робочий струм переводу стрілки, А;

$t_{\text{пер}}$  - час переводу стрілки, с

$\Delta t$  - дискрет часу - мінімальний інтервал необхідний для розкладання гармонійного сигналу низької частоти в ряд Фур'є, с

$k$  - одномірний масив, що визначає кількість точок, на яке розбивається досліджувана крива струму для розкладання в ряд Фур'є,  $k = 0, 1, \dots, t_{\text{пер}} / \Delta t$ .

$t_i$  - період  $i$ -тої гармоніки, с

$A_i$  - амплітуда  $i$ -тої гармоніки, А.

Крім того, пропонується виконувати діагностику та визначати несправності стрілочних переводів й їхніх приводів не тільки за характером спектрального складу кривої робочого струму, але й за зміною амплітуди робочого струму.

### **3.2.2 Ідентифікації несправності виду "пружинність гостряків" стрілки**

Ідентифікації виду несправності "пружинність гостряків" стрілки реалізована на перевірці виконання умови: підвищення робочого струму під час переводу стрілки за час від 0,35 с (час роботи двигуна у холостому ході – замикання другої пари робочих контактів) до моменту закінчення переводу  $t_{пер}$ . Пружинність гостряків виникає під час переведення через вигинання гостряків у разі забруднення чи поганого змащення башмаків, по поверхні яких пересуваються гостряки. В результаті робочий струм електродвигуна у порівнянні зі струмом нормального переводу збільшується.

### **3.2.3. Ідентифікація несправності «коротке замикання в обмотці ротора» й пробій ізоляції в осередді ротору**

Несправність виду «коротке замикання в обмотці ротору» супроводжується з одного боку більш повільним набиранням оборотів валу електричного двигуна при включенні й збільшенням часу переводу, а з іншого – скачками струму. Так, для асинхронного трифазного двигуна типу МСТ при одному кз в обмотці ротору, явище «скачок струму» буде проявлятися при проході над кожним полюсом, тобто його частоту можна визначити за формулою

$$f_{кз} = \frac{p \cdot n \cdot N_{кз}}{60}, \quad (3.1)$$

де  $n$  - швидкість обертання ротору, об/хв.;  $p$  - число пар полюсів,  $N_{кз}$  - кількість відмов типу кз.

Так, частота струму короткого замикання, що має місце в роторі для двигуна типу МСТ-0,25 й кількості полюсів  $p=2$  й живлені обмоток статора

напругою частотою 50 Гц ,  $n=1250$  об/хв. будуть кратними: тобто 41,7; 83,4; 125,1 ...Гц.

Оскільки за паспортними даними швидкість обертання може коливатися в межах  $\pm 10\%$  , то частота струму також буде коливатися в цих межах й дорівнюватиме  $41,7 \pm 10\% = 37,5 \dots 45,9$  Гц

При використанні в стрілочному приводів електродвигунів типу МСТ – 0,3,  $p=3$ ,  $n=850$  об/хв.  $\pm 5\%$  , тобто 42,5; 83; 127,5 ...Гц. Частота струму кз коливається в межах  $42,5 \pm 5\% = 40,3 \dots 44,6$  Гц

При використанні в стрілочному приводів електродвигунів типу МСТ – 0,6,  $p=1$ ,  $n=2850$  об/хв.  $\pm 10\%$  , тобто 47,5; 95; 142,5 ...Гц. Частота струму кз коливається в межах  $47,5 \pm 10\% = 42,3 \dots 52,3$  Гц

Аналогічний спектр частот виникає й при пробої ізоляції в осередді ротору. Несправності виду кз й пробій ізоляції листів можна буде розрізнити за величиною струму . При короткому замиканні величина струму буде більшою в декілька разів.

### **3.3. Результати експериментальних досліджень**

Всього експериментальні дослідження були здійснені для стрілочних електроприводів 14 стрілок з переведенням у положення «+» та «-». Приклад вимірів із спектральним аналізом кривої струму та величина перешкод стрілочних двигунів локомотивного депо метрополітену приведено в табл. 3.1, 3.2. У таблиці 3.1. наведені значення пускового струму, та струму переводу стрілки.

Також було досліджено криву робочого струму електроприводу, який знаходиться на кафедрі АТ, без сполучення з гостряками (див. табл. 3.2) .

За допомогою комп'ютерної програми було встановлені заважаючі гармоніки, які були встановлені у кабелі до переводу стрілки, та гармоніки, які

виникають або підсилюються під час самого перевodu стрілочного електроприводу. Заважаючі гармоніки мали частоти 250, 375, 500, 625, 750, 1000, 1125, 1250 та 1350 Гц.. В ряді випадків рівень електромагнітних завад вказаних частот був близьким до рівня гармоніки несучої частоти 50 Гц. Інші гармоніки мали або незначний вплив або були занадто малі

Таблиця 3.1

Результати вимірів робочого та пускового струмів електродвигунів стрілочних переводів локомотивного депо дніпропетровського метрополітену

№ стр	5	17	18	19	21	23	26	28	32	44	60	62	66	78
Пусковий струм, А	3	2,7	3,4	3,7	6,3	3	5,58	3,6	2,9	4,1	2,6	3,8	3	3,2
Робочий струм переводу (А)	1,53	1,78	1,74	1,92	1,67	1,75	1,86	1,88	1,88	2,2	1,5	1,913	1,9	1,76

Таблиця 3.2

Результати спектрального аналізу робочого струму переводу стрілочних електроприводів

№ стрілочного переводу	Частота перешкоди до переводу, Гц.	Середня величина перешкоди до переводу, В.	Середня величина перешкоди під час переводу
Стр. 26	250	350 мкВ	1.4 мВ
	375	550 мкВ	800 мкВ
	500	450 мкВ	300 мкВ
	625	425 мкВ	300 мкВ
	750	430 мкВ	450 мкВ
	1000	215 мкВ	700 мкВ
	1125	250 мкВ	270 мкВ
	1250	185 мкВ	520 мкВ
Стр. 21	1350	340 мкВ	370 мкВ
	250	550 мкВ	8 мВ

(МСТ – 0.3)	375	600 мкВ	11.5 мВ
	500	900 мкВ	13.5 мВ
	625	475 мкВ	15 мВ
	750	480 мкВ	12.5 мВ
	1000	100 мкВ	370 мкВ
	1125	160 мкВ	12.2 мВ
	1250	36 мкВ	13 мВ
	1350	305 мкВ	13.5 мВ
Кафедральний привід (МСТ – 0.25)	50	850 мкВ	250 мкВ
	75	1 мВ	6,2 мВ
	100	407 мкВ	14.5 мВ
	125	540 мкВ	6,5 мВ
	150	750 мкВ	500 мкВ
	175	540 мкВ	660 мкВ
	200	370 мкВ	2 мВ
	225	500 мкВ	840 мкВ
	250	662 мкВ	42 мкВ
	275	325 мкВ	287 мкВ
	300	465 мкВ	420 мкВ

За допомогою програми Microsoft Excel побудовані криві струму переводу стрілки.

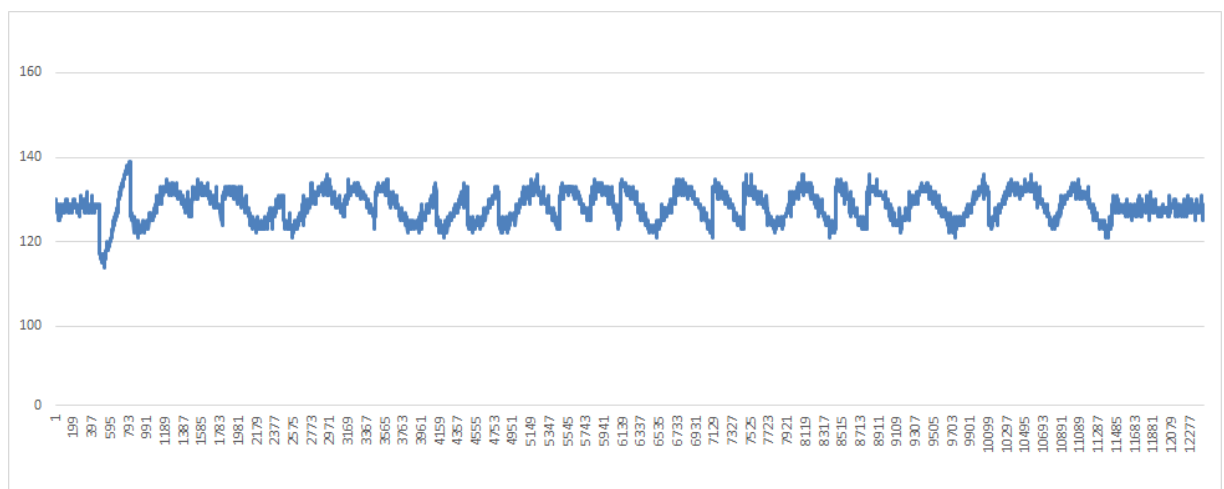


Рис. 3.1. Сигнал переводу стрілки №5

За сигнал було взято сигнал стрілки №5 оскільки він мав найменше перешкод та не було виявлено дефектів пов'язаних з роботою цього стрілочного електроприводу, тривалість переводу даної стрілки становила 3.4с.

Проаналізувавши інші криві струму переводу стрілочних електроприводів було знайдено ряд дефектів пов'язаних з нормальною роботою стрілки, наприклад за допомогою аналізу струму переводу стрілки №21 (рис 3.2.) було знайдено пошкодження характерне для розрегулювання притиснення вістря до рамної рейки, не забезпечувався зазор в 2-3мм. За допомогою аналізу проведеного над спектром завод кафедрального електроприводу знайдена несправність характерна несоосності валів, через значні низькочастотні перешкоди кратні 25Гц. Значення величини перешкоди при переводі інших стрілок, та стрілок на яких було знайдено дефект знаходяться у додатку [А]

Детальніше можна проаналізувати кінець переводу стрілки в окні програми Oscill на рис 3.3. Результати спектрального аналізу струму кінця переводу стрілочного електроприводу.

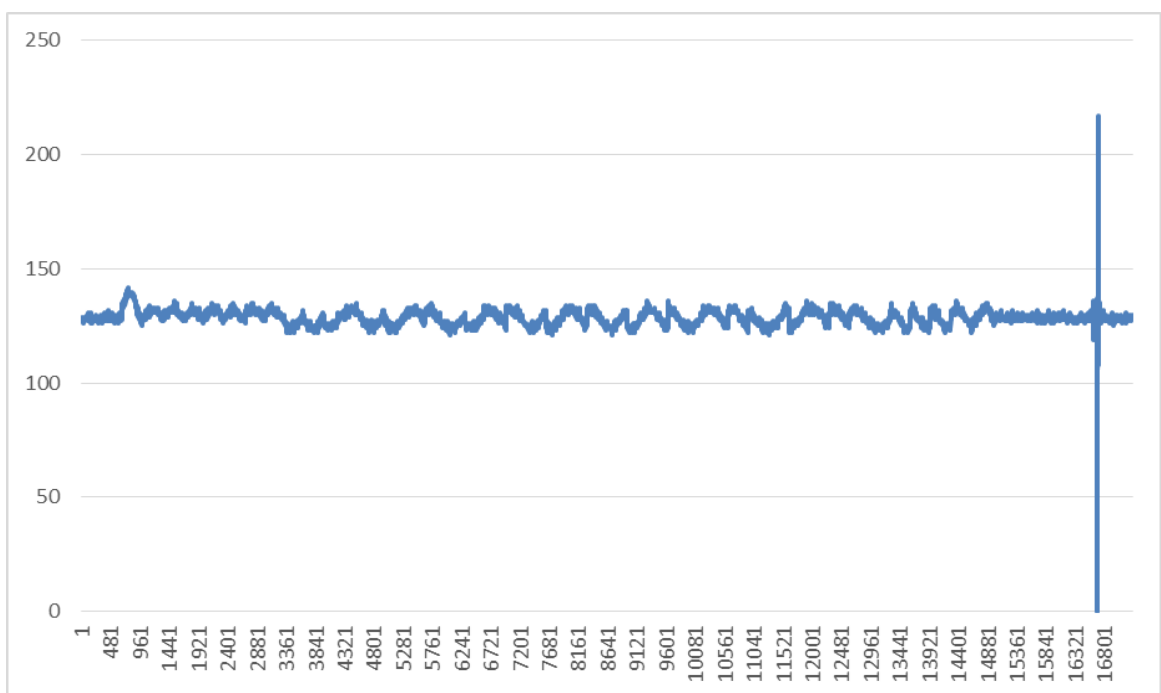


Рис. 3.2. Крива струму переводу стрілочного електропривода №21

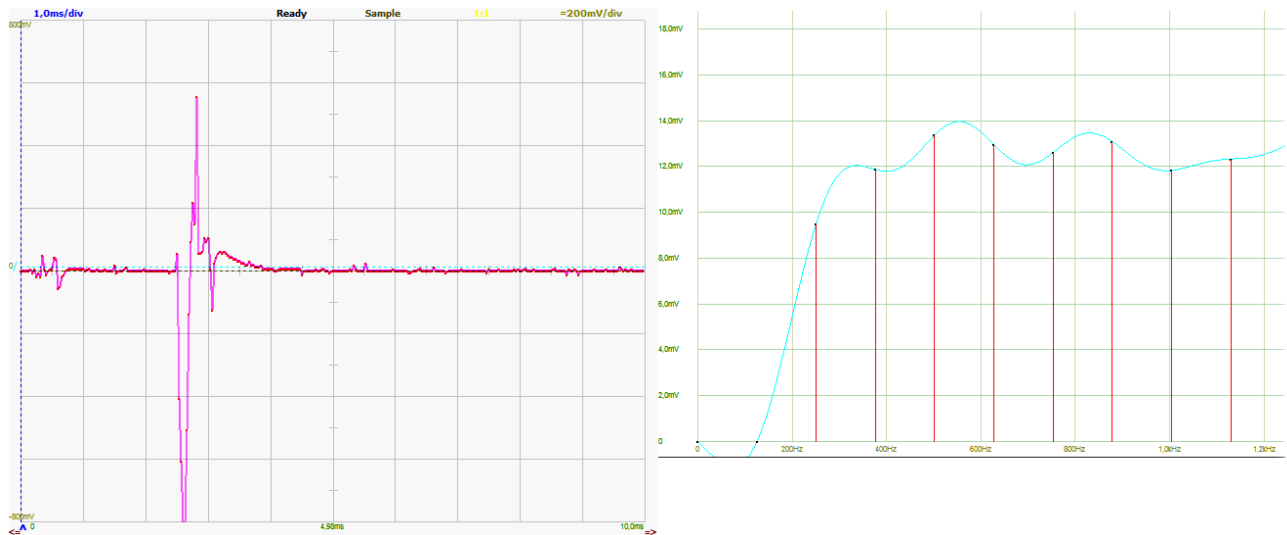


Рис 3.3. Вікно програми Oscill, кінець переводу 21 стрілки: а) дефект в кінці переводу стрілки; б) величина та частота перешкод

У вікні даної програми ми можемо бачити наскільки сильно підвищились величини перешкод в кінці переводу стрілки, та на скільки зросла величина струму у порівнянні з серединою переводу стрілки. Також була виявлена несправність іскріння контактів автоперемикача, що негативно впливало на саму їх роботу, через іскріння створювався нагар на ножах автоперемикача на стрілці №18, діаграма переводу стрілки зображена на рис. 3.4.

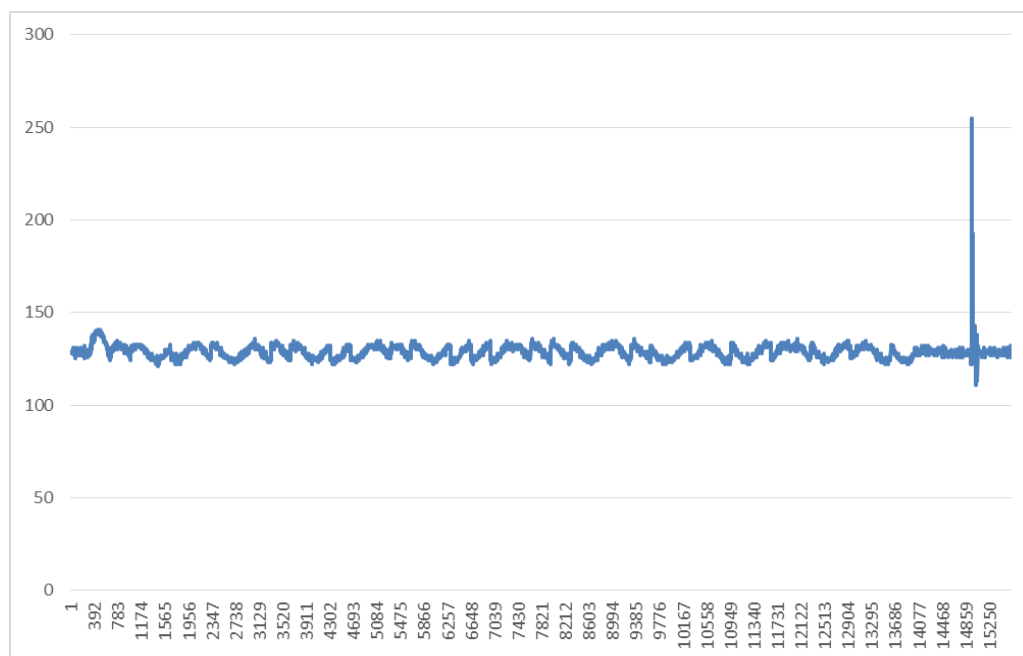


Рис. 3.4. Крива струму переводу стрілочного електропривода №18

### 3.4. Висновки за розділом

Розроблена математична модель стрілочного асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором, що дає можливість визначати його первинні параметри за результатами дослідів хх, кз й роботи машини в режимі самоходу, коли в роботі залишається лише одна фаза, а інші дві відмикаються. За результатами проведених експериментів були визначені первинні параметри Г-подібної схеми заміщення асинхронного двигуна типу МСТ-0,25 (МСТ - 0,3) й побудовані робочі й механічні характеристики.

Розроблена математична модель стала науковим обґрунтуванням методу виміру параметрів двигуна й визначення несправностей в ньому за спектральним аналізом робочого струму.

Так, при виникненні несправності виду «коротке замикання» чи пробій ізоляції в роторі в спектрі струму з'являються гармоніки кратні за частотою  $41,7 \pm 10\% = 37,5 \dots 45,9$  Гц у двигуна типу МСТ-0,25,  $42,5 \pm 5\% = 40,3 \dots 44,6$  Гц у двигуна типу МСТ-0,3 й  $47,5 \pm 10\% = 42,3 \dots 52,3$  Гц - у двигуна типу МСТ-0,6. При цьому несправності виду кз й пробій ізоляції листів можна буде розрізнити за величиною струму. При короткому замиканні величина струму буде більшою в декілька разів.

При виникненні несправності виду «биття підшипників» в спектрі робочого струму з'являються частоти від 10 до 150 Гц кратних 10 Гц амплітудою 0,5...0,8 А.

При виникненні несправності атоперемикачів стрілочного електроприводу в кінці переводу струм буде збільшуватись скачкоподібно (рис 3.2. / рис. 3.4.), при цьому майже всі гармоніки матимуть більшу величину в декілька раз в порівнянні з серединою переводу стрілки.

#### **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ДОГЛЯДІ ЗА ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ**

Роботи по догляду за централізованими стрілочними переводами повинні проводитися в перервах між рухом поїздів і маневрових составів.

Роботи на стрілочних переводах, розташованих на гіркових, сортувальних коліях і коліях підгіркових парків, виробляються також під час перерви в маневровій роботі і розпуску вагонів або із закриттям шляху після узгодження з черговим по гірці [12,13].

У всіх випадках виконання робіт на стрілочних переводах керівник робіт - майстер (бригадир) або самостійно працює монтер колії робить відповідний запис в Журналі огляду колій, стрілочних переводів, пристроїв СЦБ, зв'язку і контактної мережі із зазначенням місця і часу виконання робіт, і засобах оповіщення працюючих на стрілочних переводах про наближення поїздів.

При роботі на стрілочному переводі необхідно зайняти таке положення, при якому забезпечувалася б хороша видимість наближення рухомого складу до стрілочного переводу.

Самостійно працює монтер колії повинен безперервно стежити за підходом поїздів, розташовуватися обличчям в бік очікуваного поїзда правильного напрямку і не забувати про можливість руху поїздів і по неправильному шляху.

Керівники робіт повинні:

- забезпечити безпечні умови праці і контролювати дотримання монтерами шляху правил та інструкцій з охорони праці;
- перевірити наявність сигнальних і захисних приладдя, необхідних для роботи матеріалів, стан інструменту;
- розставити працюють так, щоб виключити розкиданість груп;

- стежити, щоб при роботах на централізованих стрілочних переводах між відведеним дотепним і рамною рейкою, між рухомим сердечником і вусовиком проти тяг електропривода закладався дерев'яний вкладиш;

- на станціях, обладнаних автоматичною системою оповіщення про наближення рухомого складу, при початку її дії припинити роботу і зійти зі шляху в безпечне місце;

- стежити за рухом поїздів, маневрових составів та інших рухомих одиниць, а також за оповіщенням про початок маневрової роботи, розпуску составів, прямування відчепів, своєчасно припиняти роботу, забезпечувати прибирання матеріалів, механізмів та інструменту, відведення працюють в безпечну зону, припиняти роботу під час руху поїзда по сусідній колії.

Пристрої пневматичної очищення працюють в режимі автоматичного і ручного (шлангової) очищення. Автоматична пневмоочистки повинна доповнюватися ручної (шлангової) для забезпечення більш ретельної періодичної очистки стрілочного переводу від нагромадилося снігу взимку, а засорітелів - влітку.

Шлангове очищення повинна проводитися двома монтерами шляху. Безпосередньо на очищенні стрілок зі шлангом працює один монтер колії. Інший монтер колії (наглядач, він же сигналіст) повинен знаходитися у крана приєднання шланга до воздухоразборной колонці, стежити за пересуваннями рухомого складу і бути готовим у будь-який момент припинити подачу стисненого повітря і сигналізувати працює про наближення рухомого складу;

- не можна розміщувати гумовий шланг на рейках сусідніх колій або стрілочних переводів, а також замикати металевим наконечником шланга рейкові кола на стрілочних переводах. У разі виробничої необхідності при перетині шляхів шланг слід прокладати під рейками в шпальних ящиках, очищених заздалегідь від снігу та баласту;

- забороняється відкривати роз'єднувальний кран пневмообдувкою і подавати повітря в випадках, коли шланг повністю не розправлений, наконечник не перебуває у руках працюючого. Необхідно переконатися, що кінцева головка шланга і колонка щільно з'єднані;

- забороняється проводити ремонт арматури на стрілках, електропневматичних клапанів, шлангів, наконечників, якщо вони знаходяться під тиском.

Очищення стрілочних переводів від снігу виконують також пристроями електрообігріву.

Електричні стрілочні обігрівачі з дистанційним управлінням призначені для поточної очищення від снігу та льоду стрілочних переводів в межах прилягання вістряків до рамних рейках, рухомого або поворотного сердечників хрестовин до вусовиків.

Електричні стрілочні обігрівачі необхідно включати в роботу в момент початку снігопаду і хуртовини, щоб забезпечити своєчасний нагрів рамних рейок, вістряків, рухомих, поворотних осердь хрестовин, вусовиків і башмаків ковзання. Вимикати електрообігрівачі слід не відразу після закінчення хуртовини чи снігопаду, а після закінчення 20 - 30 хвилин, тобто після того, як поверхні башмаків ковзання обсохнуть.

## ВИСНОВКИ

Запропонований метод діагностики двигунів стрілочних електроприводів змінного струму і стрілочних переводів, заснований на спектральному аналізі кривої робочого струму статора – є технічним рішенням контролю стану електроприводів змінного струму. За допомогою цього методу можливо не тільки виявити несправність, а й прослідкувати за зміною параметрів в електроприводі які сприяли для виникнення цієї несправності, що дозволить завчасно звернути увагу на елемент який потрібно буде замінити, ще до того як він вийде зі строю та потягне за собою виникнення відмови. За допомогою цього методу можливе зменшення не тільки часу на пошук та ремонт електроприводу але й зменшення виникнення небезпечних відмов.

Розроблена математична модель стрілочного асинхронного трифазного двигуна з короткозамкненим ротором, що дає можливість визначати його первинні параметри за результатами дослідів  $x_x$ ,  $k_z$  й роботи машини в режимі самоходу, коли в роботі залишається лише одна фаза, а інші дві відмикаються.

За результатами проведених експериментів були визначені первинні параметри Г-подібної схеми заміщення асинхронного двигуна типу МСТ-0,25 (МСТ - 0,3) й побудовані робочі й механічні характеристики.

Розроблена математична модель стала науковим обґрунтуванням методу виміру параметрів двигуна й визначення несправностей в ньому за спектральним аналізом робочого струму.

Так, при виникненні несправності виду «коротке замикання» чи пробій ізоляції в роторі в спектрі струму з'являються гармоніки кратні за частотою  $41,7 \pm 10\% = 37,5 \dots 45,9$  Гц у двигуна типу МСТ-0,25,  $42,5 \pm 5\% = 40,3 \dots 44,6$  Гц у двигуна типу МСТ-0,3 й  $47,5 \pm 10\% = 42,3 \dots 52,3$  Гц - у двигуна типу МСТ-0,6. При цьому несправності виду  $k_z$  й пробій ізоляції листів можна буде

розрізнити за величиною струму . При короткому замиканні величина струму буде більшою в декілька разів.

При виникненні несправності виду «биття підшипників» в спектрі робочого струму з'являються частоти від 10 до 150 Гц кратних 10 Гц амплітудою 0,5...0,8 А.

При виникненні несправності атоперемикачів стрілочного електроприводу в кінці переводу струм буде збільшуватись скачкоподібно, при цьому майже всі гармоніки матимуть більшу величину в декілька раз в порівнянні з серединою переводу стрілки.

Автоматизована діагностика стрілочних електроприводів за допомогою спектрального аналізу кривої робочого струму статора. За спектральним аналізом кривої робочого струму вдалося знайти несправну стрілку (стр. 21 та стр. 18), яка не відповідає нормам ТЕ, на стр. 18 знайдена несправність колодок автоперемикачів, а саме нагар на колодках. На стр. 21 несправність виникла через розрегулювання притиснення вістряка до рамної рейки, не забезпечувався зазор в 2-3мм. За допомогою аналізу проведеного над спектром завад кафедрального електроприводу знайдена несправність характерна неспівосності валів, через значні низькочастотні перешкоди кратні 25Гц.

Однією з переваг запропонованого методу полягає у збільшенні переліку несправностей які виявляються за допомогою аналізу зміни струму електродвигуна який вийшов з роботи за певний проміжок часу коли він працював справно, що дозволить в майбутньому попередити цю несправність на інших СП.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гольдберг О.Д. Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей [Текст] / О.Д. Гольдберг, И.М. Абдулаев, А.Н. Абиев. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.

2. Родькин Д.И. Возможности и эффективность метода энергодиагностики в идентификационных задачах / Д.И. Родькин, Ю.В. Ромашихин // XIV міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика”. Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С. 507-512.

3. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети [Текст]/ В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 221 с.

4. Тэрано Т. Прикладные нечеткие системы [Текст] / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

5. Бешта О.С. Ідентифікація параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна в пакетному режимі [Текст] / О.С. Бешта, О.В. Балахонцев та ін. // XIV Міжнар. наук.-техн. конф. “Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика”. Сборник научных трудов ДГТУ. – Днепродзержинск, 2007.– С. 472-475.

6. Никиян Н.Г. Способ и установка для диагностики короткозамкнутых клеток электрических машин [Текст] / Н.Г. Никиян, М.П. Саликов // Электрические станции. – 1999. - № 3. – С. 60-62.

7. Стогний Б.С. Интегрированные экспертные системы диагностирования в электроэнергетике [Текст] / Стогний Б.С., Гуляев В.А., Кириленко А.В. и др. – Киев: Наук. думка, 1992. – 248 с.

8. Надточий В.М. Экспертные системы диагностики электрооборудования / В.М. Надточий // Электричество. – 1991. – № 8. – С. 9-16.

9. Научно-исследовательская работа "Система контроля информации в промышленной среде" Клешина И.С. [Электрон. ресурс] - Режим доступа: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2007/fvti/kleshni..>

10. Научно-исследовательская работа "Система сбора информации в промышленной среде" Земцовой Т.А. [Электрон. ресурс] - Режим доступа: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2007/fvti/zemtsov..>

11. "АЦ ЖКИ модули на основе контроллера HD44780" [Электрон. ресурс] - Режим доступа: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2007/fvti/zemtsov..>

12. Резников, Ю.М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст] / Ю.М. Резников. - М.: Транспорт, 1985. – 288 с.

13. Резников, Ю.М. Стрелочные электроприводы электрической и горочной централизации [Текст]/ Ю.М. Резников, М.: Транспорт, - 1975. – 276 с.

14. Проектирование электрических машин[Текст]/ Под ред. И.П. Копылова. М.: Энергия, - 1980. – 451 с.

15. Пиотровский, Л. М. Электрические машины [Текст]/ Л. М. Пиотровский - М.–Л.:Госенргоиздат, 1963. – 504 с.

18. Вольдек, А.И. Электрические машины [Текст]/ А. И. Вольдек. – Л.:Энергия, 1976. – 840 с.

16. Проектирование тяговых электрических машин [Текст]/ Под ред М.Д. Находкина. - М.: Транспорт, 1976. – 562 с.

17. Панкратьев Л. Д., Паппе В. П., Паппе Н. П., Петров Б. И., “Следящий привод переменного тока с полупроводниковыми усилителями.” [Текст] Москва , изд. Энергия 1966.

18. Широков Н. Г., “ Теория двухфазных машин. “ Москва, изд. ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1956.

19. Чечет Ю. С. “ Управляемый асинхронный двигатель с полым ротором.” Москва, изд. Госэнергоиздат, 1955.

20. Чечет Ю. С., Номографический метод определения рабочих характеристик однофазных асинхронных микродвигателей с расщепленной фазой, “Электричество”, 1948, №7.

21. Каспаржак И. М., Слепушкин И. Е., Исходные параметры и величины для расчета характеристик двухфазных машин и их определение, “Автоматика и телемеханика”, 1956, №7.

22. Несговорова Е. Д., опытное определение параметров маломощных асинхронных двигателей, Известия высших учебных заведений, Электромеханика, 1962, №11.

23. Столов Л. И. К вопросу об определении параметров схемы замещения асинхронного двигателя малой мощности, “Электричество”, 1962, №5.

24. Сердюк, Т. М. Діагностування трифазних асинхронних двигунів / Т. М. Сердюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2018. – Ном. 16. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2018. – С. 32–42.

25. Дорохін, Б. П. Впровадження нових типів двигунів стрілочних електроприводів [Текст] / Б. П. Дорохін, Т. М. Сердюк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2013. – Ном. 6. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2013. – С. 71–84.

26. Масленников, Є. В. Стрілочні привода швидкісних залізничних магістралей [Текст] / Є. В. Масленников, П. Е. Горб, Т. Н. Сердюк, О. В. Іванов // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2013. – Ном. 5. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУЗТ, 2013. – С. 63–82.

## ДОДАТОК А

### Результати моделювання робочих і механічних характеристик в MathCad

Визначим коефіцієнт

$$C1 := 1 + \frac{x1}{xm} \quad C1 = 1.216$$

Визначим опір в колі холостого струму

$$R0 := r1 + rm \quad R0 = 27.8 \quad \text{Ом}$$

$$X0 := x1 + xm \quad X0 = 111.5 \quad \text{Ом}$$

$$Z0 := \sqrt{R0^2 + X0^2} \quad Z0 = 114.913 \quad \text{Ом}$$

Визначимо коефіцієнт потужності у колі холостого струму

$$\cos\phi_{10} := \frac{R0}{Z0} \quad \cos\phi_{10} = 0.242 \quad \sin\phi_{10} := \frac{X0}{Z0} \quad \sin\phi_{10} = 0.97$$

Визначимо активну та реактивну складові струму  $x_1$ , а також його дійсне значення

$$I_{10} := \frac{U_{1n}}{Z0} \quad I_{10} = 1.105 \quad \text{А}$$

$$I_{10a} := I_{10} \cdot \cos\phi_{10} \quad I_{10a} = 0.267 \quad \text{А}$$

$$I_{10r} := I_{10} \cdot \sin\phi_{10} \quad I_{10r} = 1.072 \quad \text{А}$$

Визначимо приведенний опір вторинної обмотки з урахуванням навантаження на валу  
Розрахунок показан для плин

$$s := 0.0025$$

$$X2 := C1 \cdot x1 + C1^2 \cdot x2 \quad X2 = 53.349 \quad \text{Ом}$$

$$R2 := C1 \cdot r1 + C1^2 \cdot \frac{r2}{s} \quad R2 = 5.336 \times 10^3 \quad \text{Ом}$$

$$Z2 := \sqrt{R2^2 + X2^2} \quad Z2 = 5.336 \times 10^3 \quad \text{Ом}$$

Розрахуємо активну, реактивну та дійсне значення струму ротора

$$I2 := \frac{U_{1n}}{Z2} \quad I2 = 0.024 \quad \text{А}$$

Коефіцієнт потужності в колі струму ротора

$$\cos\phi_2 := \frac{R2}{Z2} \quad \cos\phi_2 = 1$$

$$I_{2a} := I2 \cdot \cos\phi_2 \quad I_{2a} = 0.024 \quad \text{А}$$

$$I_{2r} := \sqrt{I2^2 - I_{2a}^2} \quad I_{2r} = 2.379 \times 10^{-4} \quad \text{А}$$

10. Вычислим активную, реактивную составляющие и полный ток статора

$$I_a := I_{10a} + I_{2a} \quad I_a = 0.291 \quad \text{А}$$

$$I_r := I_{10r} + I_{2r} \quad I_r = 1.073 \quad \text{А}$$

$$I := \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \quad I = 1.111 \quad \text{А}$$

Коефіцієнт потужності  $\cos\phi_1 := \frac{I_{1a}}{I_1} \quad \cos\phi_1 = 0.262$

Визначимо величину перетвореного опору

$$R_{pr} := C_1^2 \cdot r_2 \cdot \frac{(1-s)}{s} \quad R_{pr} = 5.309 \times 10^3 \text{ Ом}$$

Визначим величину претворенної потужності

$$P_{pr} := 3 \cdot R_{pr} \cdot I_2^2$$

$$P_{pr} = 9.022 \quad \text{Вт}$$

Визначимо додаткові втрати

коефіцієнт додаткових втрат  $adob := 0.005 \cdot \frac{P_{1n}}{I_{1n}^2} \quad adob := 0.005 \cdot \frac{P_{2n}}{\eta \cdot I_{1n}^2}$

$$adob = 11.662 \quad \text{Ом}$$

$$P_{dob} := adob \cdot I_1^2 \quad P_{dob} = 14.406 \quad \text{Вт}$$

Корисна потужність двигуна

$$P_2 := P_{pr} - P_{mex} + P_{dob} \quad P_{mex} = 1 \quad \text{Вт}$$

Потужність статора

$$P_1 := 3 \cdot U_{1n} \cdot I_{1a} \quad P_1 = 110.934 \quad \text{Вт}$$

Углова швидкість обертання ротора

$$n := n_1 \cdot (1-s) \quad n = 1.247 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

ККР двигуна

$$\eta := \frac{P_2}{P_1} \quad \eta = 0.202$$

Углова частота обертання магнітного поля статора

$$\Omega_1 := \pi \cdot \frac{n_1}{30} \quad \Omega_1 = 130.9 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Углова частота обертання ротора

$$\Omega := \Omega_1 \cdot (1-s)$$

$$\Omega = 130.572 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Обертаючий момент на валу ротора

$$M_2 := \frac{P_2}{\Omega} \quad M_2 = 0.172 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Інші результати приведені в табл.3.5. для плинусь  $s=0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3$

Визначимо величину критичного плинусь

$$S_{kr} := \frac{r_2}{\frac{x_1}{C_1} + x_2} \quad S_{kr} = 0.249$$

Максимальний пусковий момент

$$M_{\max} := 3 \cdot \frac{U I n^2}{2 \cdot \Omega 1 \cdot (x1 + x2)} \quad M_{\max} = 4.667 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент

$$M_{\text{пуск}} := 3 \cdot r2 \cdot \frac{U I n^2}{\Omega 1 \cdot [(r1 + r2)^2 + (x1 + x2)^2]} \quad M_{\text{пуск}} = 1.69 \quad \text{Н} \cdot \text{м}$$

Розрахуємо відносний момент для побудови механічної характеристики по формуле Клосса

$$M_{\text{отн}} := \frac{M}{M_{\max}} \quad s := 0.1, 0.2.. 1$$

$$M_{\text{отн}}(s) := \frac{2}{\frac{S_{kr}}{s} + \frac{s}{S_{kr}}}$$

Інші результати вимірів в табл.3.6

Таблица 3.6

s =	M <sub>отн</sub> (s) =
0.1	0.691
0.2	0.976
0.3	0.983
0.4	0.898
0.5	0.799
0.6	0.709
0.7	0.632
0.8	0.568
0.9	0.515
1	0.47