

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

Маловічко Володимир Володимирович

УДК 656.25:156.25

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СТІЛОЧНИХ
ПЕРЕВОДІВ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЇХ ПАРАМЕТРІВ

Спеціальність: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник:

доктор фізико-математичних наук,

професор Гаврилюк Володимир Ілліч

Дніпропетровськ – 2011

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1. Статистика відмов пристроїв електричної централізації	12
1.2. Аналіз відмов стрілочного електроприводу.....	14
1.3. Експлуатаційні та технічні вимоги до стрілочних переводів та стрілочних електроприводів в системах електричної централізації.....	17
1.4. Технічне обслуговування стрілок електричної централізації.....	20
1.5. Аналіз причин виникнення відмов на стрілках ввімкнених в систему електричної централізації.....	23
1.6. Аналіз систем контролю та діагностики що експлуатуються на даний час..	26
1.7. Висновки до першого розділу, постановка мети та задач дослідження..	32
2. СТРІЛОЧНИЙ ПЕРЕВІД ЯК ОБ'ЄКТ ДІАГНОСТУВАННЯ	
2.1. Структурна та кінематичні схеми стрілочного електроприводу.....	34
2.2. Особливості математичного моделювання електричних машин постійного струму.....	39
2.3. Реалізація математичної моделі процесів в стрілочному електроприводі	44
2.4. Результати моделювання процесів в стрілочному електроприводі.....	57
2.5. Застосування функціонального діагностування для контролю стану стрілочного переводу.....	59
2.6. Обґрунтування необхідності вибору нових діагностичних ознак для діагностування та контролю стрілочних переводів.....	61
2.7. Визначення відмов стрілочного електродвигуна по часовій та частотній залежності струму переведення стрілки.....	62
2.8. Визначення діагностичних ознак для стрілочних двигунів на основі експериментальних даних.....	72
2.9. Визначення діагностичних ознак для стрілочних переводів на основі експериментальних даних.....	80
2.10. Висновки до другого розділу.....	96

3. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС КРИВОЇ ЧАСОВОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ СТРУМУ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

- 3.1. Вибір методу математичного опису кривої протікання струму через стрілочний двигун постійного струму з послідовним збудженням97
- 3.2. Виявлення відмов стрілочного переводу шляхом порівняння форми кривої струму з зразковою кривою.....105
- 3.3. Порівняння кривих струму методом допустимих значень та методом інтегралів або площин.....108
- 3.4. Застосування нейромережевих технологій для діагностування стрілочних переводів з двигуном постійного струму.....111
- 3.5. Висновки до третього розділу.....116

4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ РОБОТИ, СТРУКТУРИ ТА ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ І ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

- 4.1. Структура системи контролю стрілочних переводів і електродвигунів 117
- 4.2. Принципи та алгоритми функціонування системи діагностування та контролю стрілочних переводів та електродвигунів.....118
- 4.3. Структура системи діагностування та контролю станційних пристроїв електричної централізації.....120
- 4.4. Принцип функціонування системи технічної діагностики пристроїв електричної централізації.....123
- 4.5. Використання системи технічної діагностики станційних пристроїв в якості порадики для електромеханіка.....124
- 4.6. Використання системи контролю стану стрілочних двигунів постійного струму в ремонтно-технологічних дільницях.....125
- 4.7. Висновки до четвертого розділу.....133

5. ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСУ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

- 5.1. Обґрунтування впровадження автоматизованого комплексу в ремонтно-технологічній дільниці дистанції134

5.2.	Характеристики існуючих пристроїв і стенду який впроваджується, та визначення їх вартості.....	136
5.3.	Визначення експлуатаційних витрат на автоматизований вимірювальний комплекс.....	137
5.4.	Розрахунок експлуатаційних витрат на перевірку двигунів в ремонтно-технологічній дільниці.....	140
5.5.	Доцільність впровадження комплексу для контролю та діагностування на станції обладнаній пристроями електричної централізації.....	141
5.6.	Висновки до п'ятого розділу.....	141
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....		142
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		144
ДОДАТКИ.....		155

ВСТУП

Актуальність теми

Для забезпечення надійної роботи систем регулювання рухом поїздів нормативними документами передбачено проведення періодичного технічного обслуговування, що включає контроль основних параметрів апаратури та її регулювання як безпосередньо під час експлуатації, так і в ремонтно-технологічній дільниці дистанції сигналізації та зв'язку. Недоліками існуючої технології обслуговування стрілочних переводів є: значні затрати часу та ручної праці; неможливість проведення безперервного контролю і своєчасного виявлення можливих дефектів та пошкоджень; відсутність можливості виявлення деяких скритих дефектів електромеханічної системи стрілочних електроприводів, оскільки контроль базується, головним чином, на вимірюванні робочого струму і струму роботи стрілки на фрикцію; необхідність проведення додаткового обстеження в ремонтно-технологічній дільниці для визначення характеру і локалізації дефекту; суб'єктивність отриманих результатів та їх недостатня точність, пов'язана з візуальною реєстрацією.

Все це негативно впливає на ефективність поїзної роботи на станціях.

З урахуванням великої кількості централізованих стрілок (близько 36000) на залізницях України, існуюча технологія, крім вказаних недоліків, несе з собою також значні експлуатаційні витрати.

Подальше підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів та зменшення експлуатаційних витрат можливе шляхом автоматизації контролю їх параметрів, з організацією на цій основі безперервного контролю технічного стану стрілочних переводів, а при виявленні дефекту визначення його характеру і локалізації.

Таким чином, підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів шляхом автоматизації контролю їх параметрів та створення автоматизованої системи контролю є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконана у відповідності зі Стратегією розвитку залізничного транспорту України до 2020 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 року). Обраний напрям дослідження відповідає Концепції комплексної програми розвитку залізничного транспорту України на 2007-2020р.

Дисертаційна робота пов'язана з науково-дослідною роботою „Розробка та наукове обґрунтування технічних рішень по підвищенню безпеки руху поїздів на швидкісних магістралях шляхом автоматизації контролю та діагностування рейкових кіл” (номер державної реєстрації 0108U003066), в якій дисертант брав участь у якості виконавця (розділ 4 звіту з НДР).

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів та зменшення експлуатаційних витрат шляхом автоматизації контролю їх параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів та засобів технічного обслуговування стрілочних переводів;
- розробити математичну модель електромеханічних процесів в стрілочному електроприводі з заданими дефектами та технічно справному стані;
- визначити необхідні діагностичні ознаки для аналізу стану стрілочних переводів з електричними двигунами послідовного збудження без виключення стрілок з поїзної і маневрової роботи;
- розробити методи та засоби безперервного автоматизованого контролю та діагностування стрілочних переводів;
- розробити методи автоматичної обробки результатів контролю параметрів стрілочного переводу;
- розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів стрілочних переводів.

Об'єкт дослідження – процес технічного обслуговування стрілочних переводів.

Предмет дослідження – методи та засоби автоматизації контролю параметрів стрілочних переводів.

Методи досліджень. Результати дисертації отримані за допомогою методів математичного моделювання, числових методів, перетворення Фур'є, статистичного аналізу, моделювання з використанням апарату штучних нейронних мереж:

- математичне моделювання використане з метою дослідження електро-механічних процесів в стрілочному електроприводі з заданими дефектами та технічно справному стані;
- числові методи використані для математичного опису часової залежності струму переводу стрілки за допомогою інтерполяції сплайнами, а також для визначення кількісних критеріїв відмов стрілочного переводу шляхом порівняння форми кривої струму переводу стрілки з кривою переводу стрілки в справному стані, що прийнята як зразкова;
- перетворення Фур'є використано для визначення діагностичних ознак відмов стрілочного двигуна постійного струму з послідовним збудженням за допомогою аналізу часових залежностей струму під час переводу стрілки;
- методи статистичного аналізу використані для обґрунтування можливості вирішення задачі підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів шляхом впровадження системи автоматичного контролю їх параметрів;
- методи моделювання з використанням апарату штучних нейронних мереж застосовані для побудови автоматичного апаратно-програмного комплексу контролю технічного стану стрілочних переводів та визначення типів дефектів в несправному стані.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробці нових та подальшому розвитку існуючих науково обґрунтованих методів підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів шляхом автоматизації контро-

лю їх параметрів, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність поїзної роботи.

Вперше:

- розроблено комплексну математичну модель електромеханічних процесів, що відбуваються в стрілочному електроприводі в працездатному стані та з певними дефектами при переводі стрілки, що дозволило визначити діагностичні ознаки найбільш поширених дефектів стрілочного переводу;
- на основі статистичного аналізу часових залежностей струму переведення стрілок визначено граничні функції струму за критерієм ймовірнісного знаходження стрілочного електроприводу в працездатному стані на рівні значності 5 % та проведено апроксимацію функцій струму сплайнами, що дозволило реалізувати автоматичний метод контролю технічного стану стрілочного переводу;
- проведено наукове обґрунтування розробленого методу автоматичного діагностування стрілочних переводів, що знаходяться в експлуатації, на основі аналізу функції струму переведення стрілки в часовій та частотній області з використанням запропонованої процедури інтегральної оцінки відхилення струму від граничних значень та апарату штучних нейронних мереж.

Удосконалено:

- наукове обґрунтування методики обслуговування стрілочних двигунів в ремонтно-технологічній дільниці дистанції сигналізації та зв'язку, яка відрізняється від існуючих проведенням додаткового вхідного та вихідного контролю двигунів за допомогою розробленого стенду автоматизованого контролю, що дозволяє підвищити якість технічного обслуговування та зменшити експлуатаційні витрати.

Достовірність одержаних результатів, висновків та рекомендацій підтверджується строгістю теоретичного обґрунтування та достатньою збіжністю результатів математичного моделювання з результатами експериментальних досліджень.

Практичне значення одержаних результатів. Здобуті в дисертації наукові результати дозволили розробити новий автоматичний метод контролю технічного стану стрілочних переводів без вимкнення стрілок з поїзної роботи, який може використовуватись в системах електричної централізації, гіркової централізації, систем диспетчерського керування і контролю та ін. Проведені дослідження дозволили:

- розробити та виготовити автоматизований апаратно-програмний комплекс контролю і діагностування стрілочних переводів без виключення їх з централізації;
- розробити метод безперервного автоматизованого контролю та діагностування стрілочних переводів, який дозволяє контролювати 14 основних несправностей.

Основні результати досліджень впроваджені на залізничній станції “Дніпропетровськ-пасажирський” (ДП “Придніпровська залізниця” м. Дніпропетровськ), та в навчальному процесі Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Використання перелічених практичних результатів дозволить підвищити ефективність технічного обслуговування стрілочних переводів шляхом автоматизації контролю їх параметрів.

Економічний ефект від впровадження системи автоматизованого контролю стану стрілочних двигунів для однієї дистанції сигналізації та зв’язку складає приблизно 12,8 тис. грн. на рік, а строк окупності впроваджуваного комплексу біля одного року.

Особистий внесок здобувача

Всі основні результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведені в дисертаційній роботі, отримані автором особисто або безпосередньо з його участю. Обробка отриманого матеріалу, формулювання наукових положень і висновків, підготовка публікацій і доповідей також проводились автором особисто. Постановку мети та задач дослідження виконано спільно з науковим керівником.

Усі положення та результати, що виносяться на захист, приведені в роботах [5, 60, 63-67, 72-74, 97]. В роботах, що опубліковані у співавторстві, дисертанту нале-

жать: визначення факторів, які слід враховувати під час вибору діагностичних ознак [5]; проведення аналізу технічних перевірок стрілочних електричних приводів, що виконуються під час періодичного огляду пристроїв залізничної автоматики на станції, на основі проведеного аналізу запропоновано структурну схему автоматизованого пристрою контролю основних параметрів стрілочного електроприводу, що дозволяє проводити виміри без виключення стрілок з централізації [60]; приведення та обробка статистичних даних по відмовах пристроїв електричної централізації, наукове обґрунтування вибраних діагностичних параметрів [63]; проведено експериментальні вимірювання для різних типів відмов стрілки, за допомогою аналізу форми кривої часової залежності струму визначені діагностичні ознаки для фіксації відмов стрілочного переводу безпосередньо в умовах експлуатації [64]; проведення вимірювань струму стрілочних приводів при різних відмовах двигуна, аналіз результатів поведених вимірювань спектрального складу струму переводу стрілок при їх справному стані та при різних дефектах, визначені їх особливості форми в залежності від типу відмов [65]; запропоновано спосіб дистанційного контролю стану стрілочних переводів, визначення діапазонів параметрів діагностичних ознак, необхідних для виявлення відмов стрілки [67]; виконано математичний опис часової залежності струму переводу стрілки за допомогою інтерполяції сплайнами, та запропоновано методи виявлення відмов стрілочних переводів за допомогою допустимих значень та методом інтегралів або площин [71, 72]; створення переліку відмов які необхідно діагностувати, розділення несправностей на два типи для подачі в нейронну мережу, запропонована структура нейронної мережі [73]; розроблена структура системи діагностики і контролю стану стрілочних двигунів в ремонтно-технологічній дільниці, а також розрахунок економії часу обслуговуючим персоналом при її використанні [97].

Апробація результатів дисертації

Основні результати досліджень доповідалися і були схвалені на:

- 65 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи

розвитку залізничного транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2005);

- LXVI Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2006);

- I Міжнародній науково-практичній конференції «Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті (EMC-R 2007)» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2007);

- Міжнародній науково-практичній конференції «Транспортні зв'язки. Проблеми та перспективи» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2008).

- II Міжнародній науково-практичній конференції «Електромагнітна сумісність на залізничному транспорті (EMC-R 2009)» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2009);

В повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на між кафедральному науковому семінарі кафедр «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», «Автоматизований електропривод», «Електропостачання залізниць», «Електрорухомий склад», «Локомотиви», «Станції та вузли», «Управління експлуатаційною роботою», «Фізика» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 10.09.2010 р.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 20 наукових праць, з яких 9 – у наукових журналах і збірниках наукових праць, рекомендованих ВАК України за фахом 05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту, 2 патенти на винахід, 9 – у матеріалах і тезах міжнародних конференцій.

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРЕДМЕТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Статистика відмов пристроїв електричної централізації

Для визначення параметрів, діагностування та контроль котрих дозволяє максимально підвищити надійність, та покращити обслуговування пристроїв електричної централізації, необхідно спочатку проаналізувати статистику відмов пристроїв. Це надає змогу виділити ті пристрої, контроль котрих значно підвищить працездатність системи електричної централізації [1].

Розподіл відмов систем між залізничними службами: служба сигналізації та зв'язку – 0.35 всіх відмов; служба колії – 0.508 всіх відмов; служба руху – 0.091 всіх відмов; служба електропостачання – 0.045. Як стає зрозуміло з цих даних, приблизно третина відмов доводиться на службу сигналізації та зв'язку. Якщо розглянути коефіцієнти відмов для різних систем залізничної автоматики, то отримані наступні цифри: система автоблокування – 0.42; електричної централізації – 0.382; напіваавтоматичного блокування – 0.171; інші системи – 0.027.

При розгляді статистики відмов електричної централізації по «Укрзалізниці» за період з 1998 по 2003 рік [2], отримані наступні дані (рис.1.1):

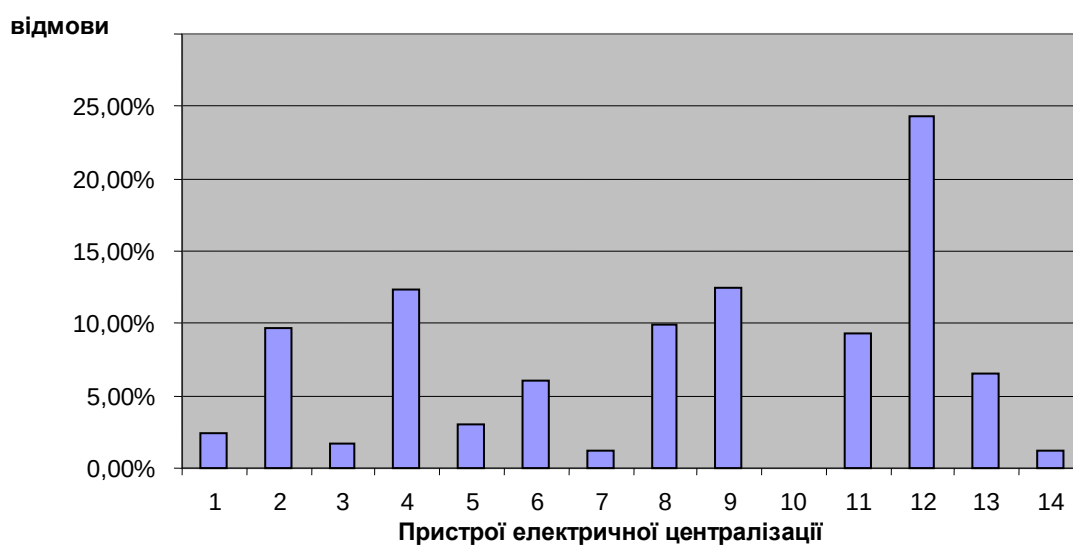


Рис. 1. 1. Відмови електричної централізації на дорогах Укрзалізниці.

Приведене процентне співвідношення відмов пристроїв електричної централізації за період 6 років.

Де:

- 1 – Пульти, табло, апарати управління;
- 2 – Релейні шафи, стативи;
- 3 – Щитові електроживлячі установки;
- 4 – Релейна і безконтактна апаратура;
- 5 – Трансформатори, перетворювачі, випрямлячі, електричні машини;
- 6 – Елементи захисту;

- 7 – Акумулятори і первинні елементи;
- 8 – Сигнали;
- 9 – Електроприводи;
- 10 – Повітряні лінії;
- 11 – Кабельні лінії;
- 12 – Рейкові кола;
- 13 – Невстановлені об'єкти;
- 14 – Інші.

Якщо проаналізувати статистичні дані про відмови в пристроях електричної централізації стає зрозуміло, що найбільше число несправностей доводиться на рейкові кола, стрілочні електроприводи, релейну апаратуру, світлофори і елементи захисту.

Розглянуто показники надійності об'єктів електричної централізації (табл. 1.1.), з урахуванням часу затримки потягу у зв'язку з відмовами електричній централізації, а також середня тривалість відмови.

Таблиця 1.1.

Показники надійності об'єктів електричної централізації

Параметр	Значення параметра для об'єктів						
	Світлофори	Електропривод	Рейкові кола	Постові пристрої	Джерела живлення	Маневрові колонки	Кабельні лінії
Середня тривалість затримки одного потягу, хв.	9.7	18.1	11.6	12.5	9.9	21	13.2
Середня тривалість затримки потягу на одну відмову, хв.	6.21	11.95	4.99	4.25	8.6	22.26	12.8
Число затриманих потягів, середнє на одну відмову	0.64	0.66	0.43	0.34	0.87	1.06	0.97
Число затриманих потягів на тисячу маршрутів	0.08	0.09	0.1	0.015	0.02	0.015	0.03
Середня тривалість відмов, хв.	28.1	32.3	30.8	21.1	23.2	70.6	67.9

Можна зробити висновок, що серед пристроїв електричної централізації, на які доводиться найбільший процент відмов, в першу чергу потребують діагностування та контролю стрілочні переводи, так як затримки потягів та середня тривалість відмов при виході з ладу стрілок вища, ніж у рейкових кіл та світлофорів.

1.2. Аналіз відмов стрілочного електроприводу

Одним з елементів колійних пристроїв системи електричної централізації, який вимагає обов'язкового діагнозу, є стрілочний електропривод. З усіх відмов станційного обладнання електричної централізації на стрілочні електроприводи доводиться близько 20,41%, та за період в 6 років по даним Укрзалізниці кількість відмов практично залишається не змінною. Відмови в процентному співвідношенні відображені на гістограмі (рис.1.2). У свою чергу відмови електродвигуна в приводі складають 19-25% [3]. Більший відсоток відмов в стрілочному приводі доводиться тільки на автоперемикач, який на відміну від електродвигуна повною мірою перевіряється при внутрішньому огляді стрілочного приводу, який проводиться по графіку електромеханіком.

Важливість контролю та діагностики даного елемента електричної централізації визначається тим, що при виході з ладу елемента електроприводу відбувається відмова всього стрілочного перевodu, а це в свою чергу призводить до того, що частина системи електричної централізації виходить з ладу (залежно від важливості стрілки і положення на станції, з роботи може бути виключено як одне рейкове коло, так і значна частина горловини станції). При виникненні відмови, всі маршрути до складу яких входить стрілка, що відмовила, не можуть використовуватись в роботі (якщо стрілка не дає контролю), чи використовується лише частина маршрутів, які проходять через дану стрілку (стрілка дає контроль але не переводиться) [4].

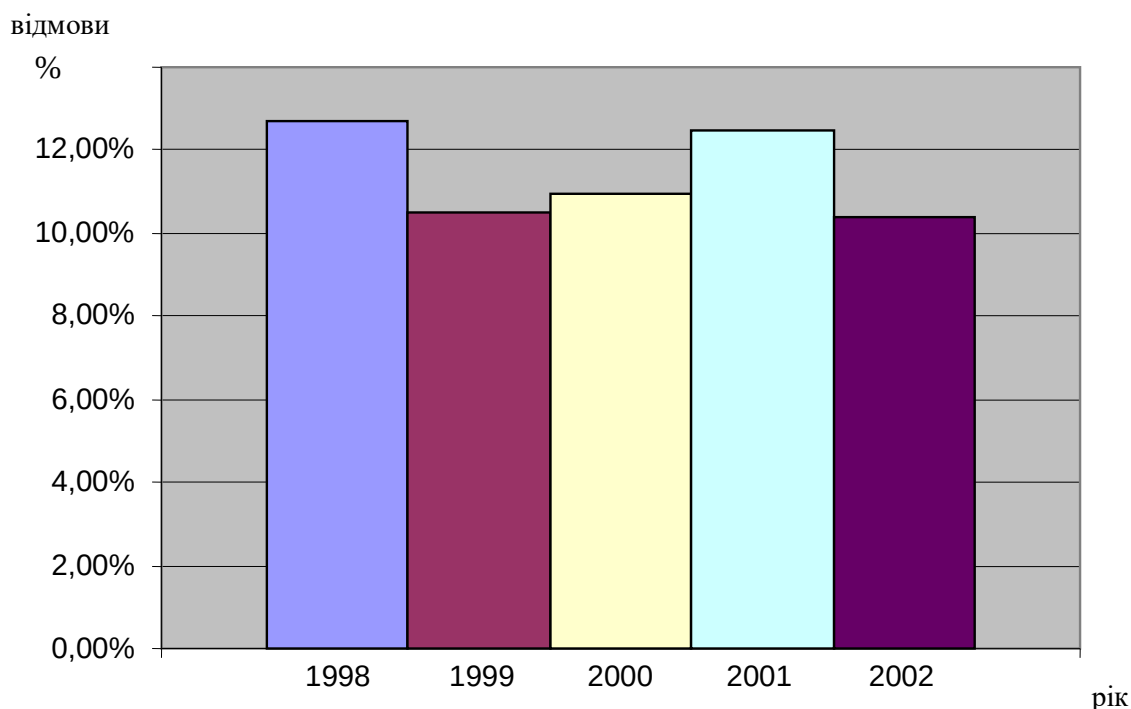


Рис. 1. 2. Відмови стрілочних приводів за дослідний період.

При виході з ладу електроприводу можливі два типи пошкоджень: стрілка не переводиться і не дає контролю (не є зафіксований в одному з крайніх положень), або стрілка не переводиться, але дає контроль. Перший тип відмов більш небезпечний, оскільки виключає будь-які пересування по маршрутах, в які входить даний стрілочний перевід.

Затримки роботи потягу у зв'язку з виходом з ладу стрілочних електроприводів, складають 18,1 хвилин (табл.1.1), що є найбільшим часом затримки серед всіх об'єктів електричної централізації.

Час пошуку і усунення несправності – це середня тривалість відмови (табл.1.1) складає 32,3 хв. Цей час є досить значним і вимагає зменшення, яке можливе при діагностиці електроприводу.

Деякі елементи частково контролюються по непрямим даних [5]. Наприклад, по контролю положення гостряків, який здійснюється самою апаратурою електричної централізації, можна визначити, що автоперемикач в електроприводі працює нормально, а також в якому положенні знаходяться контактні ножі автоперемикача.

Система електричної централізації відноситься до об'єктів контролю тривалого користування, які після локалізації відмов продовжують виконувати свої функції. Відновлення подібного роду систем багато в чому залежить від ремонтпридатності й технічного обслуговування. Отже, відновлення системи є функція таких випадко-

вих величин, як час пошуку несправності t_n час оповіщення про несправність, що з'явилася, t_{on} , час, який затрачується на прослідкування до пристрою, що відмовив, t_{np} , і власне час усунення несправності t_{yc} [4]:

$$t_{\epsilon} = t_n + t_{on} + t_{np} + t_{yc} \quad (1.1.)$$

Відзначимо, що при впровадженні системи діагностування час оповіщення незначний. Величина t_{on} визначається часом циклу опитувань контрольованих елементів. У реальній системі діагностування пристроїв автоматики й телемеханіки цей час становить кілька секунд, тому при розрахунках відновлення величиною t_{on} можна зневажити. В ідеальному випадку, при впровадженні системи діагностування виключаються всі поступові відмови, які становлять 40–50% відмов. А час відновлення системи при раптових відмовах, які становлять 55–60%, істотно зменшиться за рахунок зменшення часу пошуку несправності t_n . Тоді формулу відновлення системи можна записати в такий спосіб [4]:

$$T_{\epsilon} = T_n + T_{np} + T_{yc}; \quad (1.2.)$$

де T_n – математичне очікування часу пошуку несправності;

T_{np} – математичне очікування часу, затрачуваного на проходження до несправного об'єкту;

T_{yc} – математичне очікування часу усунення несправності.

У світлі всього вище сказаного, стає очевидної необхідність створення системи, що прискорить пошук відмов, а також допоможе не тільки їх виявляти, але й заздалегідь прогнозувати можливі відмови. Такими системами в залізничній автоматичі є системи технічного діагностування й контролю.

Витрати часу на перевірку і обслуговування електроприводів дуже значні [6]. Причому слід зазначити, що час який витрачається на перевірку електроприводів, при упровадженні системи діагностики і контролю, істотно скоротиться, а час на обслуговування електроприводів залишиться практично незмінним. Проте витрати часу на перевірку, значно перевершують час затрачуваний на обслуго-

вування, і відповідно при впровадженні системи діагностики загальні витрати часу істотно зменшаться.

1.3. Експлуатаційні та технічні вимоги до стрілочних переводів та стрілочних електроприводів в системах електричної централізації

По Правилам технічної експлуатації залізниць України [7] до стрілочних переводів електричної централізації пред'являються наступні вимоги:

- забезпечувати при крайніх положеннях стрілок щільне прилягання притиснутого гостряка до рамної рейки й рухомого осердя хрестовини до вусовика;
- не допускати замикання гостряків стрілки або рухомого осердя хрестовини при зазорі між притиснутим гостряком і рамною рейкою або рухомих осердь та вусовиком 4мм і більше;
- відводити другий гостряк від рамної рейки на відстань не менше 125мм.

Незважаючи на те, що на залізницях експлуатуються стрілочні приводи різних конструкцій, які можна класифікувати по часу переводу, по виду замикання гостряків в крайньому положенні, і т.д., структурна схема стрілочного приводу однакова [8]. Це обґрунтовується тим, що будь який пристрій який здійснює перевід стрілочних гостряків, повинен мати чотири режими роботи:

- робочий режим, при якому стрілочний електропривод забезпечує переміщення гостряків з нормативним зусиллям, яке досягає 6 кН;
- контрольний (статичний) режим, в якому здійснено механічне замикання гостряків в крайньому положенні з зусиллям, яке виключає їх відхід при проходженні потягу, і має надійний електричний контроль щільного прилягання одного гостряка до рамної рейки і відведення іншого гостряка від рамної рейки;
- динамічний режим, в якому стрілочний електропривод і елементи його кріплення сприймають динамічний вплив рухомого складу, при якому не повинні порушуватись взаємозв'язки функціональних вузлів стрілочного електроприводу і з'являться залишкові деформації, тобто повинна забезпечуватись стабільність системи електропривод – стрілочний перевід;
- режим взрізу стрілки рухомих складом, в результаті котрого порушується контрольний режим і виключається можливість виконання робочого режиму.

За інструкцією Головного управління зв'язку, енергетики та обчислювальної техніки Управління автоматики, телемеханіки та зв'язку [9], до стрілок електричної централізації пред'являються наступні вимоги.

Зовнішня перевірка стану електроприводів і стрілочних гарнітур виконується обслуговуючим персоналом один раз на тиждень на стрілках, що беруть участь у маршрутах приймання і відправлення; один раз в два тижні – на решті стрілок.

При цьому перевіряється: щільність прилягання притиснутого гостряка до рамної рейки і рухомого осердя хрестовини до вусовика без переведення стрілки; справність та надійність кріплення електроприводу і гарнітури; відсутність видимих тріщин та вм'ятин на корпусі електроприводу, робочих і контрольних тягах, фундаментних і стрілочних кутниках, зв'язній смузі; наявність стопорних планок, справність і відповідність закруток в осях (болтах) і пальцях (валиках); відсутність у шпальному ящику перешкод для руху тяг. Зовнішня чистка електроприводу і гарнітури виконується персоналом в міру необхідності, але не рідше одного разу на квартал. При перевірці візуальним оглядом перевіряється чистота та відсутність тріщин на робочих та контрольних тягах, фундаментних та стрілочних кутниках; болтові та шарнірні з'єднання повинні бути змащені.

До недоліків, які можуть порушувати нормальну роботу стрілок, відносяться: забруднення і відсутність змащення стрілочних подушок; угон гостряка відносно рамної рейки або угон однієї рамної рейки відносно другої; нагін рейки на корінь гостряка, відсутність зазору в корені гостряка; надмірне затягування болтів в корені гостряка, що викликає його пружинність; відбій рамної рейки; нещільне прилягання притиснутого гостряка до подушок (допускається зазор між гостряком і подушкою не більше 1 мм); наявність слідів дотикання гребенем бандажа сережки або її основи в результаті вертикального зносу рамної рейки; викривлення гостряка, яке викликає нещільне його прилягання до рамної рейки проти першої зв'язної тяги; наявність "накату" на головці рамної рейки, що заважає щільному прилягання гостряка до рамної рейки; ослаблення упорних болтів.

При огляді стрілочних переводів особлива увага звертається на появу напливів на рамних рейках і гостряках, нагону рейок на корінь гостряка, уgonу гостряка від рамних рейок, розширення колії, а також інших недоліків, викладених в Правилах технічної експлуатації залізниць України.

Люфти в шарнірних з'єднаннях шибера з робочою тягою, контрольних лінійок з контрольними тягами і контрольних тяг з сержками повинні бути не більше 0,5 мм, а люфти в шарнірах робочої тяги зі зв'язною і зв'язної тяги з сержками повинні бути не більше 1 мм; рух гостряка, виміряний метричною лінійкою проти першої зв'язної тяги, повинен бути не менше 147 мм.

Перевірка внутрішнього стану електроприводу з переведенням стрілки, чищення і змащенням; справності електродвигунів постійного струму виконується електромеханіком і електромонтером один раз в чотири тижні на стрілках, що беруть участь у маршрутах приймання і відправлення ; один раз на квартал – на решті стрілок.

Вимірювання струму електродвигунів типу МСП і ДП-0,18 при нормальному переведенні стрілки і при роботі на фрикцію; вимірювання зусилля фрикційного зчеплення в електроприводах з електродвигунами трифазного струму виконується обслуговуючим персоналом один раз на квартал і після заміни (промивки) фрикційного зчеплення або електродвигуна.

Вимірювання напруги на електродвигуні при роботі на фрикцію виконується один раз в два роки та після заміни електродвигуна.

Струм електродвигуна типу МСП і ДП-0,18 при роботі на фрикцію повинен бути на 25-30% вище струму нормального переведення стрілки. Крім того, струм електродвигуна при нормальному переведенні стрілки і при роботі на фрикцію не повинен перевищувати значень [9], вказаних в таблиці 1.2.

В чисельнику вказаній максимальний струм при нормальному переведенні стрілки, в знаменнику – межі максимального і мінімального значень струму при роботі електродвигуна на фрикцію.

**Струм нормального переведення стрілок та
при роботі електродвигуна на фрикцію**

Тип стрілочного переводу	Зусил- ля пе- реве- дення. Н (кгс)	Струм, А, що споживається електродвигунами в за- лежності від напруги, В								
		МСП-0,1			МСП-0.15		МСП-0,25			ДП- 0.18
		30	100	160	30	160	30	100	160	160
Поодинокій Р43, Р50- 1/9, 1/11	1100 (110)	7,3	2,4	1,9	7	1,3	10	2,8	2	1,3
		8- 9,5	2,6- 3,2	2-2,5	7,5- 9	1,4- 1,7	11-13,5	3-3,6	2,1- 2,6	1,4- 1,7
Поодиноким Р65-1/9, 1/11; перехресний Р43-1/9; по- воротне осердя Р65-1/11; гнучке рухоме осердя Р65 - 1/18	1600 (160)	9	3	2,3	8,5	1,6	12	3,6	2,5	1,6
		10- 11	3,2 -4	2,5- 3	9-11	1,7-2,1	14-16	4-4,7	2,7- 3,3	1,7- 2,1
Поодинокій Р65 - 1/18; перехресний Р65-1/9; гну- чке рухоме осердя Р65- 1/11, Р65-1/11 з гнучкими гостряками. Р65-1/11 швидкісний з нахилом	3100 (310)	13	4,7	3,3	11	2,3	14	5,2	3,5	2,3
		15-17	5-6	3,5- 4,5	12- 14,5	2,5 - 3	16-18	5,5- 6,8	3,7- 4,5	2,5 - 3

Можна зробити висновок, що при існуючій технології технічного обслуговування виконання перелічених експлуатаційних та технічних вимог до стрілочних переводів в системах електричної централізації потребує значних затрат ручної праці з боку обслуговуючого персоналу.

1.4. Технічне обслуговування стрілок електричної централізації

Роботи по технічному обслуговуванню стрілок електричної централізації виконуються обслуговуючим персоналом з періодичністю, вказаною в відповідних інструкціях [10]. Стан електропривода та стрілочної гарнітури перевіряють візуальним оглядом.

Люфти у шарнірних з'єднаннях робочих тяг перевіряють, спостерігаючи за зсувом скріплених деталей відносно одна одної при переведенні стрілки й віджиманні гостряка від рамної рейки. Люфти у вузлах кріплення контрольних тяг визначають примусовим їх зсувом щодо нерухомих частин. Болтові з'єднання оглядають, щільність закріплення перевіряють простукуванням молотком гайок, контргайок і стопорних пластин. Шпальний ящик також перевіряють візуальним оглядом. Візуально перевіряють вільність переводу гостряків стрілки з плюсового положення в мінусове й назад. Великим недоліком такої перевірки є те, що всі перераховані перевірки виконуються обслуговуючим персоналом візуально, без використання вимірювальних приладів, і відповідно точність вимірювання наприклад люфтів в стрілочній гарнітурі доволі сумнівна. При візуальній перевірці крім можливих неточностей в фіксації відмов та суб'єктивності висновків про справність та відповідність нормам того чи іншого вузла необхідно враховувати і метод фіксації результатів. Результати огляду електромеханік заносить в блокнот, а після перевірки всіх стрілок переносить записи в відповідний журнал. При великій кількості стрілок, та обмеженому часі на перевірку кожної стрілки, записи в блокноті робляться тільки по основних перевищеннях норм головних параметрів, які перевіряються. Частина інформації при цьому втрачається.

Наявність пружності гостряків перевіряють також візуально. Для виявлення пружності гостряка та вільності переводу стрілки необхідно на деякий час виключити стрілку з поїзної роботи, тому що необхідно проводити контрольні переводи. Це викликає додаткові затримки в поїзній та маневровій роботі, а також значно збільшує час перевірки всіх стрілок електричної централізації станції, тому що деякі стрілки важко вивільнити для контрольних перевірок.

Перевірку внутрішнього стану електропривода з переведенням стрілки, електромеханік виконує разом із електромонтером за згодою чергового по станції. При такій методиці перевірки стрілочних електроприводів стрілку необхідно виключати з поїзної роботи на значний час, так як повна перевірка стрілочного електроприводу проводиться за 59,63 хвилини. Крім цього, так як роботи вико-

нуються на коліях, то необхідно використовувати для перевірок дві людини, що не раціонально з економічної точки зору.

Струм електродвигунів МСП та ДП вимірюють при нормальному переведенні стрілки і при роботі на фрикцію. Цю роботу суміщають з перевіркою стрілок на щільність прилягання гостряків стрілки.

Струм нормального переведення стрілки визначають за максимальним відхиленням стрілки амперметра. В залежності від типу стрілочного переводу, марки хрестовини, а також типу стрілочного електроприводу та електродвигуна, норму струму для кожної стрілки визначають за нормативною документацією [9].

До недоліків існуючого технічного обслуговування необхідно віднести низьку точність результатів вимірювання пов'язану з візуальною фіксацією результатів вимірювань, та необхідність реєстрування додаткових факторів, які впливають на результат перевірки (такі як марка хрестовини стрілки, тип двигуна встановленого на стрілці, і т.д.). При використанні автоматичної системи вимірювання такі проблеми не виникають.

Різниця значень струмів електродвигуна при роботі електропривода на фрикцію при переведенні стрілки у плюсове та мінусове положення не повинна перевищувати 10% середнього арифметичного значення обох струмів. Напругу на електродвигуні вимірюють при переведенні стрілки та при роботі електропривода на фрикцію у вільний від руху поїздів час за узгодженням з черговим по станції. Виконання цієї роботи суміщають з вимірюванням струму електродвигуна МСП (ДП) при нормальному переведенні стрілки і роботі електропривода на фрикцію.

Така технологія обслуговування має значні затрати часових та людських ресурсів, і вимагає виключення стрілки на значний час з поїзної роботи. Крім цього вимірювання проводяться безпосередньо на коліях, що пов'язано з додатковим ризиком для обслуговуючого персоналу.

Для визначення справності стрілочного електродвигуна обслуговуючим персоналом перевіряється стан ізоляції його обмоток відносно корпусу, опір обмоток збудження та якоря, стан колектора й щіткового вузла, а також цілість корпусу, муфти і виводів.

Опір ізоляції обмоток електродвигуна з проводами його монтажу щодо корпусу вимірюють мегомметром із робочою напругою 500 В чи 1000 В, а струм та

напругу за допомогою комбінованого приладу Ц4380, або амперметром на апараті керування (табло ДСП) з класом точності 1,5.

Недоліком існуючого технічного обслуговування та контролю стану стрілочних двигунів є те, що для визначення відповідності всіх параметрів заданим нормам необхідно мати відповідні навички та знання, які є не у всього обслуговуючого персоналу. Також слід зазначити що точність результатів при таких вимірюваннях досить не висока, і дозволяє виявити тільки явно виражені несправності.

Якщо узагальнити всі недоліки які містяться в класичній методиці обслуговування стрілок електричної централізації, то можна зробити висновок, що при використанні автоматизованої системи перевірки та контролю стрілочних переводів, більшості з перерахованих вище недоліків можна позбутись. При використанні вимірювального комплексу значно підвищується точність фіксації результатів, зменшується час знаходження обслуговуючого персоналу в області підвищеної небезпеки на залізничних коліях, зникає необхідність в великій кількості записів в журналах (автоматично ведеться електронний журнал), та значно зменшуються затрати часу на перевірку стану стрілок електричної централізації.

1.5. Аналіз причин виникнення відмов на стрілках ввімкнених в систему електричної централізації

Причини виникнення відмов в стрілочних переводах

Відомі десять основних причин виникнення відмов в стрілочних переводах [11]:

1. Порушення технології при виготовленні елементів. Приховані дефекти виробництва деталей і елементів, не виявлені при заводському і вхідному контролі.
2. Порушення технології при будівництві. Проявляється в неякісному обробленні кабелю, недбалому виробництві монтажних робіт і т.д.
3. Помилки у функціональній схемі. Результат допущеної помилки в принциповій або монтажній схемі, а також при проведенні монтажних робіт. Виявляється за звичай при передпусковій перевірці, але може бути прихований і тривалий час.
4. Неправильний вибір електричних величин.

5. Метеорологічні фактори.
6. Вібрації від поїздів, що проходять.
7. Сторонні джерела енергії.
8. Виробнича діяльність різних організацій і осіб.
9. Випадкові зовнішні впливи.
10. Неправильні дії обслуговуючого персоналу.

При виникненні відмов з будь якої з цих десяти причин система діагностики повинна її фіксувати. За допомогою класичної перевірки стану стрілок по технологічним картам, більшість з наведених причин відмов фіксувати немає змоги. Способи фіксації відмов також різняться між собою.

Безперервний спосіб фіксації відмов. Цей спосіб дає можливість приступитися до пошуку відмови і її усунення відразу після того, як вона відбулася [12]. При цьому значно зростає ймовірність відновлення елемента, що відмовив, до того, як прийде необхідність у його використанні.

Фіксація відмов способом “квитірування” означає, що попередня інформація про відмову відсутня й відмова буде зафіксований тільки тоді, коли наступить необхідність у використанні вузла, що відмовив, або елемента.

Для успішного функціонування системи діагностики і контролю необхідно використовувати безперервний спосіб фіксації відмов. Крім цього, впровадження безперервного способу фіксації відмов дозволить фіксувати перемижаючі відмови, які являються одними з найнебезпечніших.

Цей вид відмов дуже складно виявити й усунути. Суть перемижаючих відмов у тому, що вони діють у пристроях не постійно, а виникають тільки на якийсь, часто дуже короткий час і тільки за певних умов. Прикладами перемижаючих відмов можуть служити пробой ізоляції в рейкових колах, втрата контролю стрілкою, відпадиння якоря на реле й т.д. Виникають відмови тоді, коли пристрої не відрегульовані як треба, або якісь елементи цих пристроїв несправні. Причиною є несутлінне технічне обслуговування пристроїв. Ці відмови виникають під впливом зовнішніх факторів, таких як зміна температури, зниження живлячої напруги,

вплив вібрацій і т.д. Основна небезпека перемижаючих відмов полягає в тім, що їх дуже складно виявити. Звичайними методами пошуку несправностей при пошуку перемижаючих відмов користуватись не можна, тому що перемижаючі відмови можуть виникати на дуже короткий час (кілька секунд), після чого причину відмови виявити стандартними методами пошуку неможливо. Для того щоб виявити причину відмови, необхідно в момент часу коли проявляється відмова зафіксувати всі зовнішні фактори, які могли вплинути на її виникнення.

Причини виникнення відмов стрілочних електродвигунів

Більшість стрілочних приводів, які експлуатуються в даний час на залізницях України, приводяться в рух за допомогою електродвигуна постійного струму з послідовним збудженням якоря.

Найхарактерніші відмови електродвигунів наступні: відпай пластин колекторів, обрив секції, поганий контакт на щітках, обрив обмоток, міжвиткове коротке замикання, коротке замикання в обмотці статора [13].

Основні причини порушення роботи щіток і колектора наступні:

- колектор забруднюється вугільним пилом від щіток і, якщо вчасно його не очистити, виникає іскріння між щітками і колектором, яке їх поступово руйнує;
- пониження ізоляції колектора за рахунок вологи і вугільного пилу; згоряє ізоляція колектора через неякісну проточку якоря;
- погане натиснення щіток на пластини; зсув щітки щодо нейтралі і затискання щіткотримача гайкою за рахунок невідповідності розміру втулки щіткотримача;
- замикання на колекторі через з'єднання виводів внаслідок недбалої пайки вивідних кінців секцій обмоток до пластин колекторів або металевих задирок, що утворилися в процесі обточування.

Іноді при роботі двигуна спостерігається перегрів підшипників. Таке явище частіше за все викликано механічним руйнуванням підшипника, підвищеним тертям між сальником і валом або відсутністю осьового люфту. Перегрів електродвигуна у зв'язку з короткочасним повторним характером роботи двигуна можливий тільки при короткому замиканні пластин колектора або секцій якоря.

Використання системи контролю та діагностування стрілочних переводів по кривій часової залежності струму дає можливість виявляти ще на ранніх стадіях всі перераховані вище відмови.

1. 6. Аналіз систем контролю та діагностики що експлуатуються на даний час

Розробка системи технічного діагностування вимагає рішення цілого ряду теоретичних і практичних завдань. Ці завдання пов'язані з оцінкою надійності пристроїв автоматики і телемеханіки, аналізом відмов, моделюванням процесу пошуку й усунення несправностей, вибором необхідного й достатнього числа контрольованих параметрів, розробкою способів і методів передачі та обробки контрольної інформації, створення і дослідження високонадійних діагностичних датчиків. Необхідно також визначення оптимальної структури систем діагностування, що забезпечує високу економічну ефективність усього діагностичного комплексу. Особливість технічного діагностування пристроїв автоматики і телемеханіки полягає в тому, що об'єкти контролю розосереджені на значній відстані один від іншого, крім цього вони перебувають у безперервній експлуатації й не допускають найменших перерв у роботі. Різні підсистеми електричної централізації виконують різні функції, експлуатуються у важких кліматичних умовах, виконані на різній елементній базі. Крім виконання своїх основних функцій (контроль і діагностування елементів автоматики й телемеханіки), система технічного діагностування повинна контролювати поїзний стан у системі диспетчерського регулювання руху поїздів.

В останні роки простежуються тенденції поділу систем контролю й систем діагностики. На даний час на залізницях широко використовуються системи контролю (будь-які види диспетчерського контролю, пристрої електричної централізації контролюючі різні параметри, різні контрольно-вимірювальні прилади) які розвиваються досить стрімкими темпами разом з розвитком систем диспетчерської централізації. Такі системи можуть контролювати значне число параметрів, але істотним недоліком даних систем є те, що вони контролюють як правило тільки найпростіші дискретні величини і в основному найпростішим способом – вимірювання контрольованої величини й порівняння з заданим значенням. До цього типу систем відноситься система диспетчерської централізації “Каскад”, розроблена дніпропетровською

фірмою “Анtron” [14]. Система диспетчерської централізації “Каскад” містить підсистему контролю станційних пристроїв. Але контроль колійних пристроїв в системі “Каскад” виконаний на рівні, необхідному для функціонування системи диспетчерської централізації, тобто контролюється тільки працездатний стан об’єкту. Для стрілок, ввімкнених в систему “Каскад” контролюється тільки їх положення (плюсове, мінусове або взріз) та замикання їх в маршруті. При переводі стрілки також контролюється максимально допустимий рівень струму при переведенні стрілки. Струм переведення стрілки відображається у вигляді прямокутника з написом „Струм переводу”. Заповнення прямокутника відбувається пропорційно величині струму. Зелений і жовтий колір заповнення відповідає нормальному струму переведення, а червоний – високому. Ці данні відображаються при необхідності на моніторі поїзного диспетчера [14].

До недоліків даної системи необхідно віднести не можливість прогнозування виникнення відмов, контроль лише положення гостряків стрілок і відсутність контролю всіх інших вузлів та параметрів стрілочного переводу. Контроль рівня струму переведення стрілки також виконаний лише для наглядного відображення диспетчеру, і для працівників служби Ш практичної користі не представляє, так як не фіксуються величина струму переведення в амперах, яка могла б дати можливість прогнозувати відмови.

Більше інформації може дати система технічної діагностики типу “Прогноз”.

Система “Прогноз” забезпечує контроль 20 станцій, на кожній з яких може контролюватися стан 40 двопозиційних датчиків. Крім того, на кожній станції збирається інформація з 16 сигнальних точок, на яких може контролюватися 19 датчиків [15].

Недоліком даної системи є відсутність контролю аналогових величин на станційних об’єктах контролю, та недостатній рівень контролю колійних пристроїв, який дає використання двохпозиційних датчиків для колійних пристроїв. Для стрілочного переводу контролюється лише положення стрілки і її працездатний стан в цілому, але не має змоги контролювати стан окремих вузлів стрілочного переводу та електроприводу. В більш сучасних системах АПК ДК та АСДК також контролюються тільки дискретні величини, і відповідно їм притаманні такі самі недоліки як і системі “Прогноз”.

Можливість перевіряти стан стрілочного двигуна постійного струму і частково стан стрілочного переводу за допомогою аналізу кривої струму переводу стрілки розглядалось і раніше [16]. При цьому стверджувалось, що вимірювання струму приладами візуального відліку дає не досить точні результати, внаслідок короточасних процесів і інерційності приладів. Більш точні вимірювання можна провести з використанням шлейфового осцилографа, який включають в один з лінійних провідників Л1 або Л2. В лінійні провідники двигуна підключають реостат, за допомогою якого можна встановити різний еквівалентний опір. По зафіксованим осцилограмам визначають рівень пускового та робочого струму, а також час переводу стрілки.

Для дистанційного виявлення несправностей в стрілочному двигуні постійного струму можна використовувати перехідний пристрій [16]. Пристрій складається з реле типу АСШ-200 без випрямляча, дільник напруги, резистора гасіння, резистора навантаження, контрольного амперметра і пускової кнопки.

В вільний від руху потягів час по узгодженню з черговим по станції пристрій включають замість комутаційних дужок, встановлених в лінійних провідниках Л1 і Л2 стрілки яка перевіряється. Перевірка стрілочних електродвигунів суміщається з перевіркою стрілки на щільність прилягання гостряка до рамної рейки та вимірюванням струму фрикції і переводі стрілки в обидва положення. Під час переводу стрілки між гостряком і рамною рейкою закладається шаблон товщиною 4мм. При фіксованому струмі фрикції і натиснутій пусковій кнопці в блоці вмикається реле, контактами якого замикається ланцюг живлення на один резистор, а ланцюг двигуна підключається на дільник напруги, з якого знімається струм на осцилограф. З моменту натискання пускової кнопки, якір електродвигуна обертається за інерцією, і двигун працює в режимі генератора. На екрані осцилографа спостерігається затухаючий процес. Характер одержаних осцилограм роботи двигуна в режимі генератора визначає вид несправності. За допомогою такого пристрою можна фіксувати такі несправності двигуна як обрив обмотки якоря, міжвиткове замикання обмоток якоря, пружність гостряка стрілки.

Недоліками даного методу є необхідність використання додаткової одиниці обслуговуючого персоналу при перевірці стрілок на щільність прилягання гостряка, мала кількість відмов стрілочного двигуна та стрілочного переводу які ви-

являються, низький клас точності одержаних результатів, так як осцилограми оцінюються та класифікуються візуально в реальному масштабі часу.

Більш раціонально фіксувати відмови стрілочного двигуна та стрілочного переводу не при роботі двигуна стрілки в режимі генератора, а при робочому переводі стрілки. Такий метод використовувався на дистанціях сигналізації, централізації та блокування №5 та №6 Придніпровської залізниці [17]. Автором даного способу дистанційної діагностики електродвигунів типу МСП запропоновано в якості датчика шунт, ввімкнений в розрив лінійного ланцюга замість робочого запобіжника. З датчика виділяється два сигнали: струм навантаження та змінні складові струму. Обидва сигнали підсилюються та одночасно записуються на стрічку швидкодіючого кардіографа Н-338. Швидкість руху стрічки – 50 мм/сек. Сигнал по робочому струмі навантаження відображає стан механічної частини стрілочного переводу, а змінні складові струму відображають стан стрілочного електродвигуна. По стрічці кардіографа визначають наступні відмови: стрілочний перевід потребує регулювання, в двигуні є обриви секцій обмоток якоря, коротке замикання в якорі, забруднення колектора і щіток, пружність гостряка.

Недоліками такого способу є необхідність виключати стрілку з поїзної роботи для проведення вимірювань, низька точність результатів, так як система не захищена від впливу перешкод і результати вимірювань обробляються візуальним оглядом осцилограм на стрічці, а також низькою кількістю (всього 5 відмов) несправностей які фіксуються даним методом.

В Юдинській дистанції сигналізації централізації та блокування Горьківської залізниці Російської федерації проходить експериментальну експлуатацію автоматизована система вимірювання і контролю параметрів електродвигуна постійного струму стрілочних електроприводів [18]. Загальний принцип роботи даної системи заключається в реєстрації струму, який споживає електродвигун під час робочого переводу стрілки, перетворення його в цифровий вигляд і передачу одержаного масиву даних для обробки в мікроконтролер. В розробленому варіанті система складається з датчика комутаційних пульсацій та датчика Холла. Інформаційний сигнал зі вторинної обмотки трансформатора поступає на блок вимірювального перетворення в канал вимірювань. Датчик Холла встановлюють безпосередньо біля запобіжників на струмове-

дучих провідниках ланцюгів живлення стрілок для сигналізації про перевід стрілки. В даній системі контроль стану стрілочних двигунів виконується візуальним, пороговим, та спектральними методами. При використанні візуального аналізу крива струму записується в електронному вигляді і проглядається механіком служби сигналізації та зв'язку, котрий ідентифікує спираючись на свій досвід ту чи іншу відмову. Пороговий аналіз ґрунтується на визначенні співвідношень між піковими значеннями пульсацій струму, який споживається стрілочним двигуном, і його випрямленим значенням. Було вибрано три порогових рівня, характерних для визначених несправностей. При перевищенні сигналограмою порогових рівнів, мікроконтролер видає повідомлення про виникнення несправності, і потребує звернути увагу на стан стрілочного двигуна. Режим порогового аналізу автоматичний, він не потребує безпосередньої присутності електромеханіка. При виявленні на екрані монітора повідомлення про несправність стрілки, електромеханік може звернутися до візуального аналізу, або до більш точного спектрального аналізу. Спектральний аналіз оснований на алгоритмі швидкого перетворення Фур'є. По спектральному складу струму, визначається наявність таких несправностей як обрив обмоток якоря, погана пайка, міжвиткові замикання, замикання колекторних пластин, іскріння. Практично, перевірка одного двигуна методом візуального аналізу складає 15с, а методом спектрального аналізу біля 1 хвилини. Автоматизована система контролю представляє собою універсальний діагностичний комплекс, котрий може використовуватись як окремий засіб забезпечення безпеки руху поїздів, так і в складі більш складних систем.

Запропонована система має ряд значних вад, при використанні її для діагностування стрілок електричної централізації. По перше, струм стрілочного двигуна перед оцифровуванням знімається з котушки трансформатора, тобто оцифровується і аналізується тільки змінна складова струму. Це дає можливість контролювати та діагностувати стан стрілочного двигуна, але повністю виключає можливість контролю та діагностування стрілочного переводу. По друге, рішення про виникнення несправності виноситься електромеханіком, тобто вплив людського, суб'єктивного фактору не виключений. По третє, для перевірки стану стрілочного двигуна на станції, необхідно використовувати час обслуговуючого персоналу, і немає можливості виявляти несправності в автоматичному режимі.

Відомий спосіб дистанційного діагностування стрілочного переводу з двигунами постійного струму є винахід (АС СРСР №1796515 А1) [19]. Пристрій, що реалізує даний спосіб складається з підсилювача, RC-фільтра, детектора, запускаючого тригеру, одновібратора, ключового елементу, регістра пам'яті, блоків виділення мінімального та максимального рівнів огинаючої робочого струму, суматора, компараторів, квадратора, функціонального перетворювача, перемножувача, комутатора, стартового тригеру, логічних елементів та блока індикації.

Цей спосіб передбачає осцилографування кривої робочого струму і при появі в спектрі огинаючої кривої по її спадам і підйомам визначати дефекти підшипників, а по підвищенню амплітуди в кінці переводу – пружинність гостряків.

Недоліками даного пристрою є не досить висока точність вимірів контрольних параметрів та неможливість прогнозування розвитку відмов (інформація про відмову з'являється на блоці індикації тільки при перевищенні заданого порогового рівня). Також до недоліків потрібно віднести малу кількість контрольованих параметрів які не в повній мірі дозволяють контролювати стан стрілкового переводу. Даний пристрій побудований на досить великій кількості різних електронних блоків та елементів і для правильного функціонування потребує досить великої кількості опорних рівнів напруг та джерел живлення, що негативно впливає на надійність його роботи.

Відомий також спосіб дистанційної діагностики стану механічної частини стрілочного переводу з електроприводом постійного струму [20]. Суть даного способу полягає в тому, що виділяють осцилограму і аналізують криву складову споживаного струму, згідно корисної моделі, проводять миттєвий аналіз кривої струму, наприклад, за допомогою швидкого розкладання в ряд Фур'є, і при появі в спектрі гармонік в діапазоні 1-10000Гц за їх частотою і амплітудою та параметрами швидкісної частоти роблять висновок про стан механічної частини стрілочного переводу, а саме: дефекти шарикопідшипників фіксують при появі в спектрі складової кривої споживаного струму додаткової гармоніки з частотою від 10 до 150Гц, пружність гостряка стрілочного переводу та забруднення подушок фіксують по стрибковидному змінненню швидкісної частоти; люфт щіток електродвигуна фіксують по появі підвищених гармонік швидкісної частоти, а кількість дефектних щіток – по числу цих гармонік.

Недоліком цього способу є неможливість прогнозування виникнення відмов, так як проводиться миттєвий аналіз, мала кількість відмов які виявляються, відсутність контролю рівня постійної складової, що звужує можливості контролю.

1. 7. Висновки до першого розділу, постановка мети та задач дослідження

Проведений аналітичний огляд дозволяє зробити наступні висновки:

1. Аналіз методів і засобів технічного обслуговування стрілочних переводів і електроприводів показав, що існуючі методи і вимірювальні засоби морально і технічно застаріли. Технологія обслуговування стрілок електричної централізації основана на періодичному контролі пов'язаному з обов'язковим виходом обслуговуючого персоналу на колії, що пов'язано з високими затратами часу, включає в себе велику кількість ручних операцій, та не забезпечує необхідної точності.

2. Запис часової залежності струму переводу стрілки взагалі не проводиться та не регламентується, в той час як аналіз форми кривої часової залежності струму надає змогу контролювати значну кількість параметрів стрілочних переводів без виходу на колії, та дозволяє прогнозувати виникнення відмов. При цьому вимірювання параметрів стрілочних переводів проводиться візуально обслуговуючим персоналом, а вимірювання електричних величин проводиться приладами без автоматичної фіксації даних, що не надає необхідної точності та достовірності одержаних результатів.

3. Існуючі методи контролю та діагностування стрілочних електроприводів та стрілочних переводів не дозволяють виявляти відмови одночасно з необхідною точністю та змогою прогнозування їх виникнення. Кількість класів відмов, які виявляються в існуючих системах також не достатня.

4. Використання жодної з існуючих систем, не дозволяє автоматично виявляти та класифікувати відмови. Це не дає змоги позбавитись від людського фактору, та виконувати контроль великої кількості параметрів стрілок електричної централізації без затрат часу обслуговуючого персоналу. В існуючих системах також відсутня автоматична реєстрація відмов без участі людини, що надало б можливість одержувати об'єктивну картину технічного стану стрілок електричної централізації.

Таким чином, для підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів та електроприводів необхідно розробити нові методи та засоби контролю параметрів стрілок на сучасній елементній базі з використанням комп'ютерно-інтегрованих технологій та з автоматичним визначенням відмов.

Метою роботи є підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів та зменшення експлуатаційних витрат шляхом автоматизації контролю їх параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі:

- провести аналіз існуючих методів та засобів технічного обслуговування стрілочних переводів;
- розробити математичну модель електромеханічних процесів в стрілочному електроприводі з заданими дефектами та технічно справному стані;
- визначити необхідні діагностичні ознаки для аналізу стану стрілочних переводів з електричними двигунами послідовного збудження без виключення стрілок з поїзної і маневрової роботи;
- розробити методи та засоби безперервного автоматизованого контролю та діагностування стрілочних переводів;
- розробити методи автоматичної обробки результатів контролю параметрів стрілочного переводу;
- розробити дослідний зразок автоматизованого апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів стрілочних переводів.

2. СТІЛОЧНИЙ ПЕРЕВІД ЯК ОБ'ЄКТ ДІАГНОСТУВАННЯ

2. 1. Структурна та кінематичні схеми стрілочного електроприводу

Найбільше розповсюдження на залізницях нашої країни і інших країн отримали електромеханічні стрілочні приводи, що обумовлене зручністю передачі енергії по території станції, простотою її перетворення в механічну роботу і надійністю механізму [21].

Не зважаючи на різноманіття конструкцій електромеханічних стрілочних електроприводів їх структурні схеми ідентичні [22-24]. Це пояснюється тим, що будь-який пристрій, що здійснює перевід стрілочних гостряків, повинен мати чотири режими роботи:

- робочий, при якому стрілочний електропривод забезпечує переміщення гостряків з нормованим зусиллям, що досягає 6 кН;

- контрольний (статичний), коли здійснено механічне замикання гостряків в крайньому положенні із зусиллям, що виключає їх відхід при проходженні потягу, і є надійний електричний контроль щільного прилягання одного гостряка до рамної рейки і відведення іншого гостряка від рамної рейки;

- динамічний, коли стрілочний електропривод і елементи його кріплення до стрілочного переводу (стрілочна гарнітура) сприймають динамічні дії рухомого складу, при яких не повинні порушуватися взаємозв'язки функціональних вузлів стрілочного електроприводу і відбуватися залишкові деформації, тобто повинна забезпечуватися стійкість системи "стрілочний електропривод - стрілочний перевід";

- взрізу стрілки рухомим складом, в результаті якого порушується контрольний режим і виключається можливість виконання робочого режиму [25,26].

Схема стрілочного переводу приведена на рис.2.1.

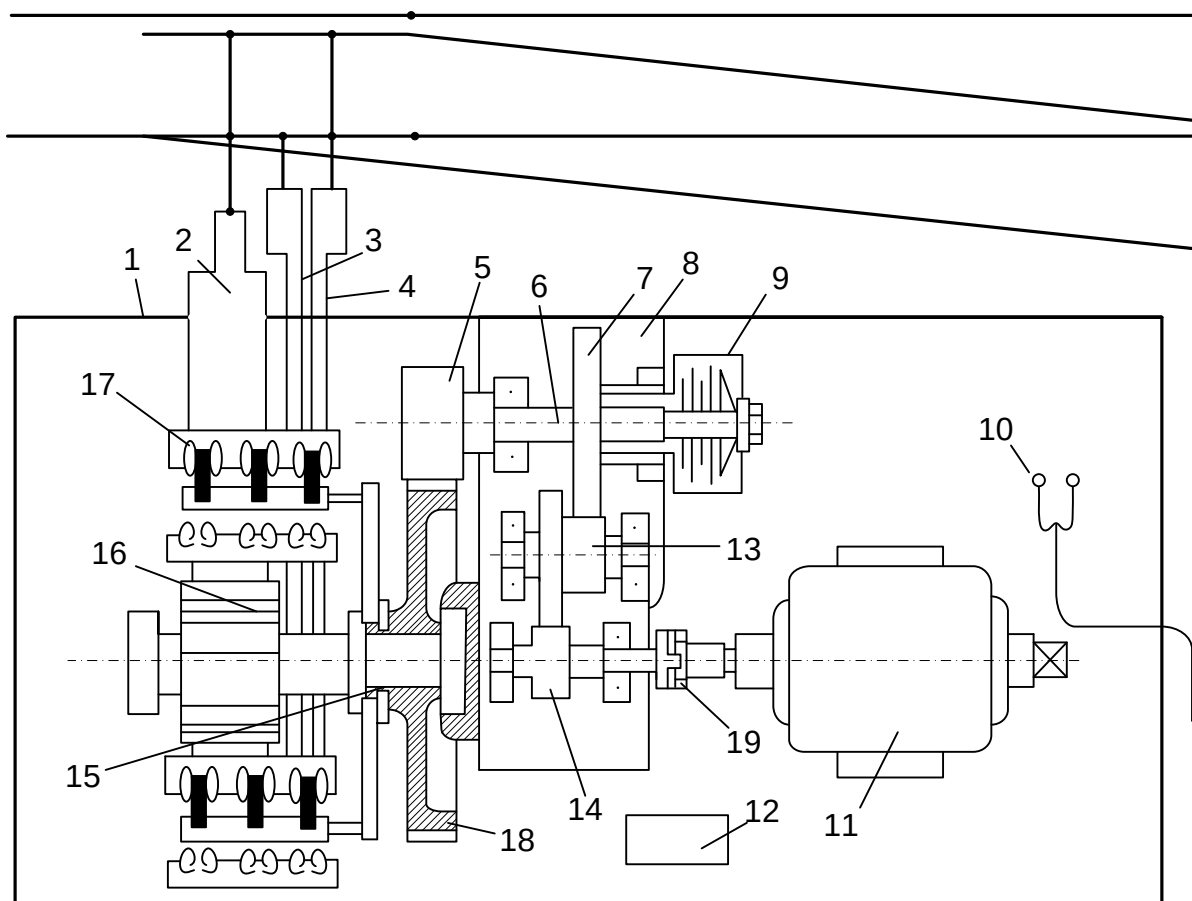


Рис 2.1. Структурна схема стрілочного електроприводу:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1 – корпус; | 11 – електродвигун; |
| 2. – шибер; | 12 – обігрівач; |
| 3,4 – контрольні лінійки; | 13,14,– шестерні; |
| 5. – шестерня редуктора; | 15 – головний вал; |
| 6. – вал; | 16- шиберна шестерня; |
| 7. – шестерня редуктора | 17 – блок автоперемикача; |
| 8 – редуктор; | 18 – зубчате колесо з упором; |
| 9 – фрикційна муфта; | 19 – муфта щеплення (вирівнювальна муфта). |
| 10 – блокуючи заслінка з контактом; | |

В робочому режимі обертаючий момент від електродвигуна 11 передається через фрикційну муфту 9 до шестерень редуктора 8, який обертає головний вал 15 з меншою швидкістю і в багато разів збільшеним моментом [27-29]. У взрізних приводів на головному валу 15 може знаходитися взрізний пристрій, здійснюючий роз'єднання валу при взрізі стрілки, коли зусилля взрізу досягає певного значення.

Головний вал 15 забезпечує переміщення робочого шибера 2 через замикаючий механізм, який виконується в різних варіантах, наприклад у вигляді циліндрової передачі з провідною шестернею особливої конфігурації (із замикаючим зубом) 16. Після закінчення переводу стрілки, контакти автоперемикача 17 під дією контрольних лінійок 3 і замикаючого механізму 16 змінюють свій стан, і електродвигун 11 відключається, а контрольний ланцюг електроприводу замикається.

Якщо представити стрілку як механічну систему, то це можна представити наступною схемою (рис 2.2).

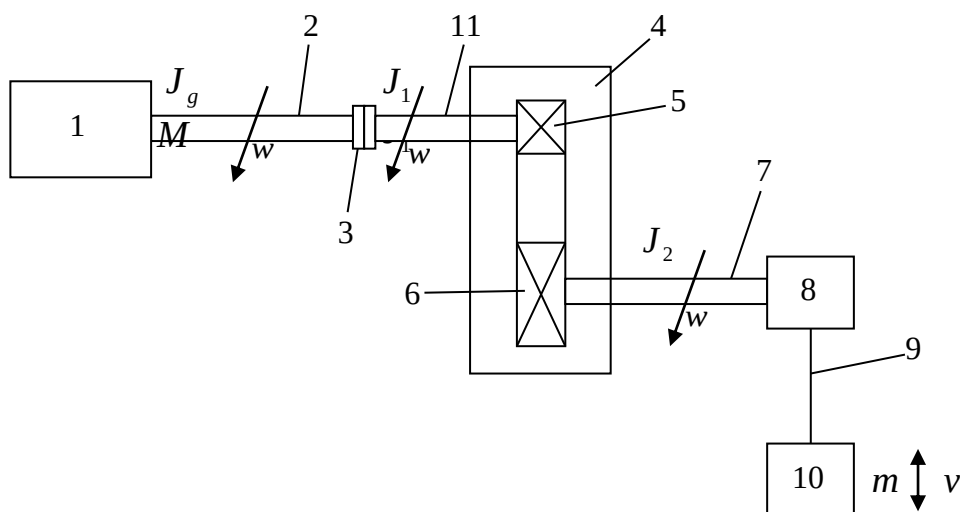


Рис 2.2. Кінематична схема стрілочного приводу:

- | | |
|--|--|
| 1 – двигун; | 7 – головний вал; |
| 2 – вал двигуна; | 8 – шиберна шестерня; |
| 3 – з’єднувальна муфта; | 9 – виконавчий орган (з приєднаною робочою тягою); |
| 4 – редуктор; | 10 – гостряки стрілки. |
| 5,6 – мала та велика шестерні редуктора; | |

Електродвигун 1 (рис. 2.2) перетворює підведену електричну енергію в механічну, приводячи в рух вал 2 з кутовою швидкістю W_1 та обертальним моментом M . Вал має власні фізичні параметри, від яких залежить момент інерції I_g . Через з’єднувальну муфту 3 вал редуктора 11 з жорстко насадженою малою шестернею 5, який має власний момент інерції I_1 , обертається з кутовою швидкістю W_1 і передає обертальний рух на велику шестерню 6 редуктора 4. Обертальний рух передається з редуктора на головний вал 7, примушуючи його обертається з кутовою швидкістю

W_2 . Головний вал 7 має власний момент інерції, який позначено I_2 . Зубці шибєрної шестерні 8, яка має жорстке з'єднання з головним валом 7, входячи в щеплення з зубцями шибєра 9, примушують його пересувати разом із робочою тягою гостряки стрілки 10 і таким чином відбувається перетворення обертального руху в поступальний.

У механічному русі стрілочний електропривод бере участь рухома частина електродвигуна, елементи передатного пристрою (редуктор), виконавчий орган або шибєр.

Поступальний рух, який виконує стрілочний електропривод, можна записати у вигляді виразу для знаходження сили, яку розвиває електропривод при виконанні переводу, за II законом Ньютона [22]:

$$\sum F = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt}, \quad (2.1)$$

де m – маса гостряків;

$\frac{dv}{dt}$ – прискорення переміщення гостряків;

$m \frac{dv}{dt}$ – сила, яку розвиває привод при переводі;

v – швидкість поступального руху тіла;

$\frac{dm}{dt}$ – зміна питомої маси рухомої частини при виконанні переводу за рахунок поступового включення в роботу більшої кількості вузлів;

$v \frac{dm}{dt}$ – інерційність системи для поступального руху.

Обертний рух стрілочного електроприводу має параметри аналогічні до параметрів формули (2.1) і описується рівнянням [22]:

$$\sum M = J \frac{dw}{dt} + w \frac{dJ}{dt}, \quad (2.2)$$

де J – момент інерції;

$\frac{dw}{dt}$ – прискорення обертального руху;

$J \frac{dw}{dt}$ – момент, який необхідно розвинути, щоб перевести стрілку;

w – кутова швидкість руху;

$\frac{dJ}{dt}$ – зміна питомого моменту інерції рухомої частини при виконанні переводу за

рахунок поступового включення в роботу більшої кількості вузлів;

$w \frac{dJ}{dt}$ – інерційність системи для обертального руху.

Нехай всі елементи в схемі мають жорсткі з'єднання між собою і між ними немає зазору. При чому, під час переводу стрілки, коли гостряки переміщуються з одного положення в інше, люфти на передачу енергії від двигуна до гостряків не впливають. Це спрощення схеми не змінює суттєво кінематичну схему і дозволяє розраховувати схему як одномасову. Всі елементи схеми замінені одним відносно двигуна і в результаті одержано одномасову схему механічної частини електропривода. На рис. 2.3: 1 – електродвигун; J , M , w – приведені значення моменту інерції, обертального моменту та кутової швидкості обертання валу двигуна відповідно.

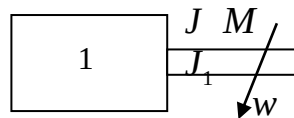


Рис. 2.3. Розрахункова схема механічної частини електропривода.

Прирівнявши вирази для визначення енергій, які витрачаються на переведення стрілки для кінематичної схеми стрілочного приводу (рис. 2.2) та розрахункової схеми механічної частини електроприводу отримано (рис. 2.3):

$$\frac{J \cdot w^2}{2} = \frac{J_g \cdot w^2}{2} + \frac{J_1 \cdot w^2}{2} + \frac{J_2 \cdot w_2^2}{2} + \frac{m \cdot V^2}{2}, \quad (2.3)$$

де $\frac{m \cdot V^2}{2}$ – кінетична енергія переведення стрілочних гостряків.

Передаточне число редуктора можна визначити з формули:

$$\delta = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{w}{w_2}, \quad (2.4)$$

де Z_2 – число зубців великої шестерні;

Z_1 – число зубців малої шестерні.

З (2.4) виразивши w_2 :

$$w_2 = \frac{w}{\delta}. \quad (2.5)$$

Підставивши в (2.3) замість значення w_2 його еквівалент з (2.5):

$$\frac{J \cdot w^2}{2} = \frac{J_g \cdot w^2}{2} + \frac{J_1 \cdot w^2}{2} + \frac{J_2 \cdot w^2}{2 \cdot \delta^2} + \frac{m \cdot V^2}{2}. \quad (2.6)$$

Розділимо вираз (2.6) на $\frac{w^2}{2}$:

$$J = J_g + J_1 + \frac{J_2}{\delta^2} + \frac{m \cdot V^2}{w^2}. \quad (2.7)$$

У виразі (2.7) останній доданок – радіус приведення:

$$r^2 = \frac{m \cdot V^2}{w^2}. \quad (2.8)$$

З наведених формул можна зробити висновок що стрілочний перевід можна представити як одномасову систему, і момент прикладений до гостряків стрілочного переводу привести до моменту на валу двигуна. Відповідно з цим величина струму який протікає через стрілочний двигун під час переводу стрілки може бути віднесена до моменту навантаження від гостряків стрілки. Перші три доданки в формулі (2.7) для кожного типу стрілочного приводу з заданим типом двигуна є постійними, тому введено наступний коефіцієнт:

$$\hat{E}_j = J_g + J_1 + \frac{J_2}{p^2} \quad (2.9)$$

І підставивши в (2.7) отримаємо:

$$J = \hat{E}_j + \frac{m \cdot V^2}{w^2} \quad (2.10)$$

Таким чином отримано сумарний момент інерції машини і навантаження.

2. 2. Особливості математичного моделювання електричних машин постійного струму

Для дослідження статичних і динамічних режимів роботи електроприводів з електричними машинами постійного струму необхідно скласти математичну модель у формі системи диференціальних рівнянь або у вигляді передатних функцій. Взагалі,

опис об'єкта у вигляді системи диференціальних рівнянь є найбільш загальним, тому що з нього, як окремий випадок, можна одержати рівняння для статичних режимів, прирівнявши похідні функцій до нуля.

Математична модель електричної машини будь-якого типу складається з рівнянь електричної рівноваги всіх контурів електричної машини та рівняння руху ротора [30,31].

Приведено схему заміщення двигуна постійного струму (рис.2.4.).

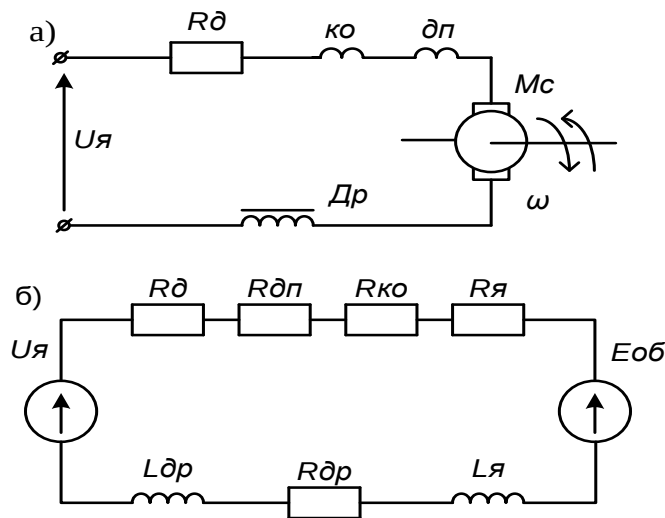


Рис. 2. 4. Схеми двигуна постійного струму.

Найбільші проблеми виникають при моделюванні ЕРС обертання. Розглянуто її формування. Відомо, що $E_{об} = k\phi \cdot \omega$, де k - коефіцієнт пропорційності, ϕ - потік у зазорі електричної машини, ω - кутова швидкість. У загальному випадку магнітний потік машини постійного струму не залишається незмінним. Магнітний потік залежить від струму збудження, але навіть при постійному значенні струму збудження $I_{зб.н.} = const$ магнітний потік не залишається постійним $\phi \neq const$ через вплив реакції якоря. Реакцією якоря називається явище впливу струму в силовому колі на величину магнітного потоку в електричній машині [31].

Оскільки потік дорівнює $\phi = \phi_{зб} - \Delta\phi_{ря}$, причому $\Delta\phi_{ря} = f(I_{я})$, то при моделюванні машини постійного струму із регульованим магнітним потоком виникає необхідність врахування динамічних властивостей обмотки збудження і нелінійної залежності магнітного потоку обмотки збудження від струму в ній, що задається кривою намагнічування (рис.2.5.).

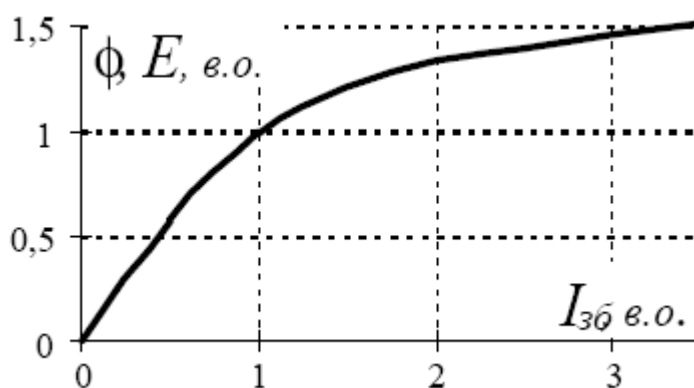


Рис. 2. 5. Крива намагнічування.

Крива намагнічування наводиться у відносних одиницях. Тому, знаючи номінальні значення $I_{зб.н.}$, E_n , $k\phi_n$, можна перебудувати криву для даного конкретного двигуна. Крім насичення електричної машини по контуру основного магнітного потоку, іноді необхідно враховувати насичення по контуру потоку розсіювання. Індуктивність якоря визначається двома складовими

$$L_{\text{я}} = L_a - L_s, \quad (2.11.)$$

що відповідають основному магнітному полю і полю розсіювання, зчепленому з якірною обмоткою. Значення L_s залежить від величини струму якоря $L_s = f(I_{\text{я}})$. Насичення по контуру розсіювання проявляється при значних струмах якоря, порядку $(5 \div 7)I_n$ і полягає в зменшенні величини L_s . Якщо здійснювати заходи для обмеження пускового струму на рівні $(2 \div 2.5)I_n$ це явище можна не враховувати. Подібний вплив на динамічні параметри електричної машини чинять вихрові струми і явища комутації. Усі перераховані фактори за певних умов можуть проявлятися, тому необхідно заздалегідь визначитися з їх якісним та кількісним впливом. У номінальних режимах цими факторами нехтують і кажуть, що прийняті наступні основні припущення:

1. Струм збудження має стале значення;
2. Нехтують значенням насичення як по контуру основного магнітного потоку, так і по контуру розсіювання;
3. Не враховується вплив контурів вихрових струмів;
4. Машина цілком скомпенсована, тобто вплив реакції якоря відсутній.

З урахуванням припущень, сформульованих вище, вважаємо, що всі параметри схеми заміщення сталі і $k\phi = \text{const}$. Тоді рівняння електричної рівноваги за 2-м законом Кірхгофа [31]:

$$U_{\text{я}} = k\phi\omega + I_{\text{я}}R_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{dI_{\text{я}}}{dt}, \quad (2.12.)$$

Та рівняння руху електропривода:

$$J \frac{d\omega}{dt} = k\phi \cdot I_{\text{я}} - M_c. \quad (2.13.)$$

Або в канонічній формі:

$$L_{\Sigma} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} = U_{\text{я}} - k\phi\omega - I_{\text{я}}R_{\Sigma}; \quad (2.14.)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = k\phi \cdot I_{\text{я}} - M_c \quad (2.15.)$$

З урахуванням вищезгаданих особливостей система рівнянь машини постійного струму лінійна і допускає аналітичне рішення [32]. Але при дослідженні, параметри машини постійного струму можуть змінюватися і система рівнянь стає нелінійною. Наприклад, у випадку, коли регулювання швидкості забезпечується змінюванням величини магнітного потоку з урахуванням кривої намагнічування. При чисельному розв'язанні системи диференціальних рівнянь зміна параметрів моделі може бути легко врахована додаванням необхідних диференціальних або алгебраїчних рівнянь. Для моделювання на комп'ютері або при використанні математичних програм структурного моделювання необхідно побудувати структурну схему машини постійного струму яка враховує всі особливості роботи. Розділивши рівняння електричної рівноваги на R_{Σ} і ввівши позначення електромагнітної сталої часу отримано:

$$T_e = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \quad (2.16.)$$

Тоді

$$\frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} = \frac{U_{\text{я}} - k\phi\omega}{R_{\Sigma}} - I_{\text{я}}, \quad (2.17.)$$

Або в операторній формі:

$$(T_e p + 1) = \frac{1}{R_{\Sigma}} (U - k\phi\omega) \quad (2.18.)$$

Поклавши коефіцієнт передачі - $k_\phi = \frac{I}{R_\Sigma}$, одержано передаточну функцію за струмом у вигляді аперіодичної ланки:

$$W_I(p) = \frac{I(p)}{U(p) - k\phi\omega(p)} = \frac{k_\phi}{T_e p + 1}. \quad (2.19.)$$

Записавши в операторній формі основне рівняння динаміки отримано передаточну функцію за швидкістю – передаточну функцію інтегруючої ланки:

$$W_\omega(p) = \frac{\omega(p)}{M(p) - M_c(p)} = \frac{1}{Jp} \quad (2.20.)$$

З урахуванням виразів $E = k\phi\omega$ і $M = k\phi I$ складено структурну схему моделі.

Розглянуто двигун постійного струму послідовного збудження, конструктивна особливість котрого полягає в тому, що магнітний потік є функцією струму якоря $\phi = f(I_a)$, причому ця залежність нелінійна (рис.2.6.). Система диференціальних рівнянь двигун постійного струму послідовного збудження набуває вигляду [31]:

$$\begin{cases} L_\Sigma \frac{dI_\Sigma}{dt} = U_\Sigma - k\phi\omega - I_\Sigma R_\Sigma; \\ J \frac{d\omega}{dt} = k\phi I - M_c; \\ k\phi = f(I_\Sigma). \end{cases} \quad (2.21.)$$

У модель додається одне нелінійне алгебраїчне рівняння. Тепер структурна схема моделі має вигляд (рис.2.7.)

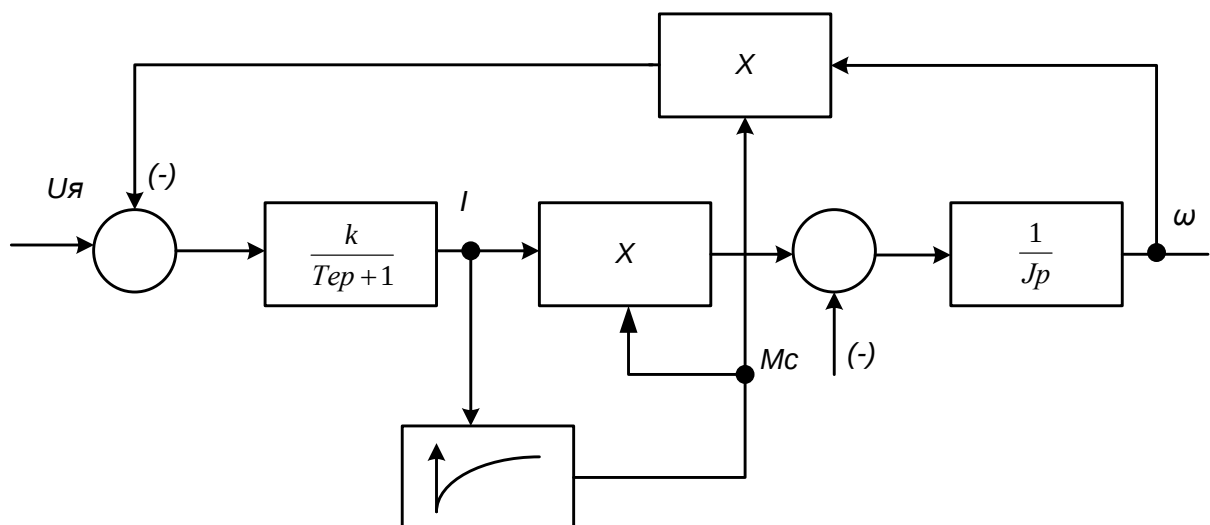


Рис. 2. 7. Структурна схема двигуна постійного струму послідовного збудження.

Для двигуна постійного струму послідовного збудження з урахуванням реакції якоря структурна схема приведена на рис.2.8.

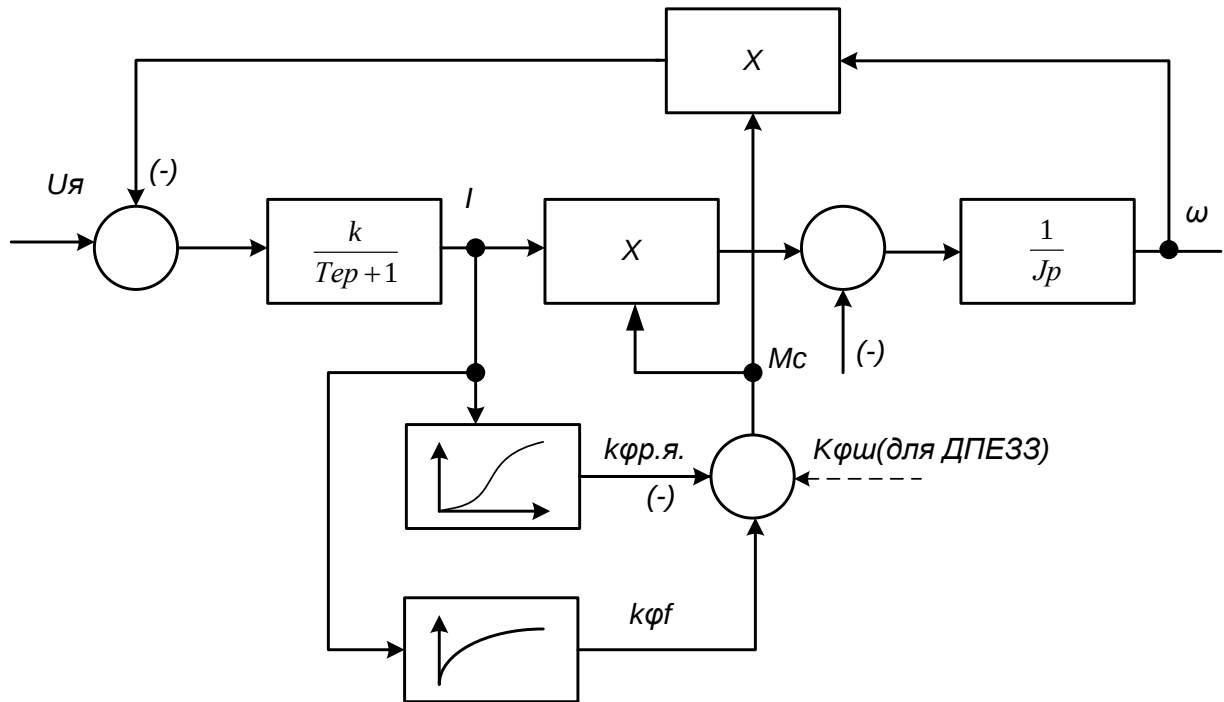


Рис.2.8. Структурна схема двигуна постійного струму послідовного збудження з урахуванням реакції якоря.

Для стрілочного двигуна постійного струму типу МСП-0,25 з напругою 160В, та номінальним током обмотки збудження 2,5А для спрощення моделі можна вважати її лінійною, так як на кривій намагнічення (рис 2.5.) двигун працює на першій ділянці, де струм якоря залежить від потоку наступним чином $\Phi = c\phi \times I_{\text{я}}$ при $I_{\text{я}} < (0.8 \div 0.9) \cdot I_{\text{я ном}}$ [13]. У відповідності з цим, систему диференціальних рівнянь які описують модель стрілочного переводу можна вважати лінійною. Також схема значно спрощується за рахунок того, що в стрілочному двигуні постійного струму відсутня компенсаційна обмотка та додаткові полюси. Крім цього необхідно побудувати не лише модель стрілочного двигуна, а модель всього стрілочного переводу.

2.3. Реалізація математичної моделі процесів в стрілочному електроприводі

Схема розробленої моделі процесів в стрілочному електроприводі з урахуванням вище перелічених факторів наведена на рис. 2.9.

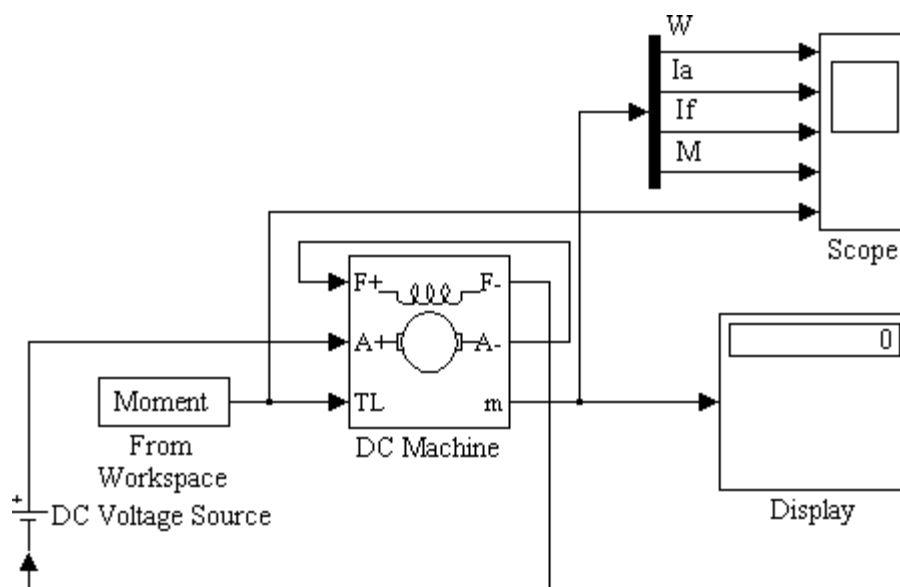


Рис. 2. 9. Модель процесів в стрілочному електроприводі.

Схема включає джерело постійної напруги DC Voltage Source для живлення машини, блок From Workspace «Moment» для завдання моменту опору руху валу машини й зняття її динамічних характеристик, досліджувану машину постійного струму з послідовним збудженням DC Mashine, прилад для виміру змінних стану машини Display, блок Demux, який ділить вхідний вектор на його складові, і прилад Scope для візуального спостереження струмів в обмотках збудження і якоря, а також кривих перехідних процесів змін кутової швидкості й моменту досліджуваної машини в тому числі й моменту, що задається із середовища MATLAB [30].

В залежності від навантаження на двигун, яке задається за допомогою блока Moment і подається на порт TL машини постійного струму DC Mashine, на осцилографі Scope можна спостерігати часові залежності зміни швидкості обертання валу двигуна W у рад/с, струму обмотки якоря I_a та обмотки збудження I_f в А, а також моменту на валу двигуна M у Н·м, які подаються у вигляді вихідного вектору з порту m на вхід блоку Demux, де вони розкладаються на окремі залежності [30], при цьому одночасно спостерігаючи за зміною моменту на валу, що задається як навантаження блоком Moment.

Напруга в блоці DC Voltage Source вказується у вольтах. Робоче коло приводу починається з позитивної обклашки джерела постійної напруги, яка під'єднана до порту A+ машини постійного струму DC Mashine, що є початком обмотки якоря.

Кінець обмотки якоря, порт A–, з'єднано з початком обмотки збудження, порт F+. Кінець обмотки збудження, порт F–, з'єднано з мінусовою обкладкою джерела постійної напруги. Таким чином обмотки двигуна мають послідовне включення.

Момент опору руху валу двигуна можна задавати як у вигляді масиву чисел, так і у відповідності до математичних законів, або залежностей. При цьому миттєві значення швидкості обертання валу двигуна у рад/с, струму в обмотках збудження і якоря в А, а також моменту на його валу в Н·м виводяться у вигляді числового значення на Display.

Приведено схему блоку DC Mashine (рис. 2.10).

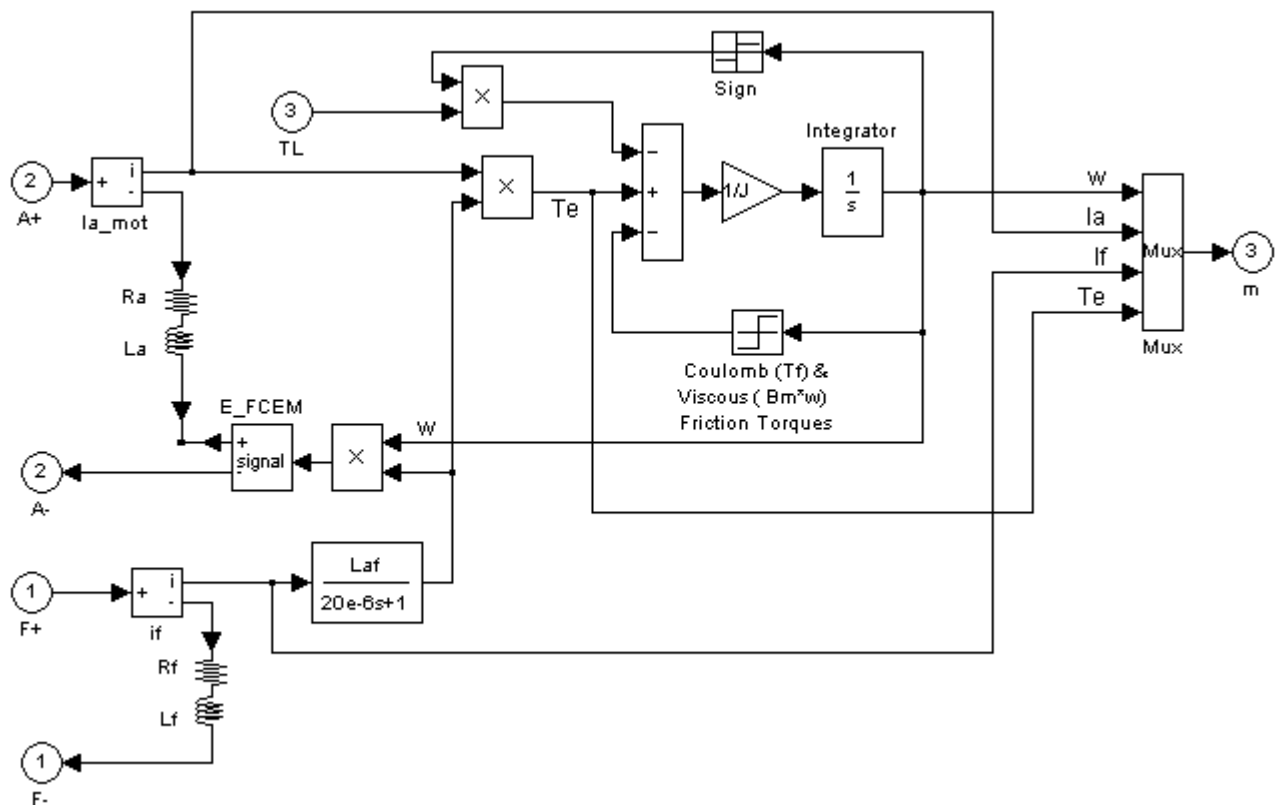


Рис. 2. 10. Схема моделі машини постійного струму DC Mashine.

Коло якоря машини представлено послідовно ввімкненими: R_a – активний опір кола якоря, L_a – індуктивність якорного кола та E_FCEM – ЕРС обмотки якоря (кероване джерело напруги). Величина ЕРС обмотки якоря обчислюється за формулою [33]:

$$E_a = K_E \cdot W, \quad (2.22)$$

де K_E – коефіцієнт пропорційності між кутовою частотою обертання та ЕРС;
 W – частота обертання вала електродвигуна.

Коефіцієнт пропорційності між частотою обертання і ЕРС залежить від величини струму обмотки збудження машини [33]:

$$K_E = L_{af} \cdot I_f, \quad (2.23)$$

де L_{af} – взаємодуковність між обмоткою якоря та обмоткою збудження;

I_f – струм збудження машини.

Коло збудження машини представлено на схемі рис. 2.10 елементами R_f і L_f – активний опір і індуктивність обмотки збудження.

Механічна частина моделі обчислює кутову частоту обертання валу машини у відповідності до рівняння [32]:

$$J \frac{dW}{dt} = T_e - T_L \cdot \text{sign}(W) - B_m \cdot W - T_f, \quad (2.24)$$

де T_e – електромагнітний момент машини;

B_m – коефіцієнт в'язкого тертя;

T_f – момент сухого тертя;

T_L – момент опору руху;

$\text{sign}(W)$ – сигнум-функція, приймає значення 1, якщо $W > 0$, і значення 0, якщо $W = 0$.

Якщо підставити вираз (2.24.) в рівняння моменту одно масової системи (2.10) то отримаємо:

$$\hat{E}_j + \frac{m \cdot V^2}{w^2} \cdot \frac{dW}{dt} = T_e - T_L \cdot \text{sign}(W) - B_m \cdot W - T_f \quad (2.25)$$

Враховуючи (2.8) та виразивши радіус приведення, отримано залежність руху гостриків стрілки від електричних характеристик стрілочного двигуна:

$$r^2 = [(T_e - T_L \cdot \text{sign}(W) - B_m \cdot W - T_f) - \hat{E}_j] / \frac{dW}{dt} \quad (2.26)$$

Механічна частина моделі представлена інтегратором і підсилювачем з коефіцієнтом передачі $1/J$, а також відповідними суматорами і множником.

Величина електромагнітного моменту машини обчислюється згідно з виразом [33]:

$$T_e = K_T \cdot I_a, \quad (2.27)$$

де I_a – струм якоря;

K_T – коефіцієнт пропорційності між електромагнітним моментом і струмом якоря.

За величиною коефіцієнт K_T рівний K_E .

При моделюванні стрілочного приводу необхідно задавати параметри як механічної частини, так і параметри електричної частини. Механічну частину представлено у вигляді кількості обертів на здійснення руху стрілочних гостряків. Подолання усіх зазорів і люфтів стрілочного приводу вал стрілочного електродвигуна здійснює за два оберти. Три наступні оберти забезпечують входження в щеплення зуба шиберної шестерні з зубом шибера. Перевід гостряків здійснюється за 55 обертів. Таким чином в загальному випадку валу стрілочного електродвигуна необхідно виконати 60 обертів для здійснення переводу. Надалі виконано моделювання переводу стрілки тривалістю 2 с стрілочним електроприводом СП-6 з двигуном МСП-0,25 номінальною напругою 160 В, який встановлено на одиночній стрілці з маркою хрестовини 1/11. Отже, якщо привід здійснює переведення стрілки за 2 с, то швидкість обертання валу двигуна складає 30 об/с, або 1800 об/хв, при номінальному значенні частоти обертання для даного типу двигунів 1700 об/хв та максимально допустимому 2550 об/хв. [16].

Проведені розрахунки для електричної частини стрілочного приводу, яка представлена машиною постійного струму з послідовним збудженням МСП-0,25. Крім зазначених вище значень напруги живлення, номінальної та максимально допустимої частоти обертання валу двигуна даний електродвигун має наступні параметри [16]: потужність 250 Вт, номінальний струм 2,5 А, момент на валу 1,47 Н·м, коефіцієнт корисної дії 0,7, габаритні розміри 320×250×193 мм, маса 15,6 кг. До характеристик двигуна відносяться також: повітряний зазор між полюсом і якорем повинен знаходитись в межах від 0,5 до 0,7 мм, обмотка якоря містить 24 секції (в кожному пазу розташовані по дві сторони секцій), число пазів якоря 24, число колекторних пластин 24. Обмотки збудження двигуна мають наступні дані: обмотка збудження налічує 488 витків проводу діаметром 1,0 мм і має опір електричному струму при температурі +20°C, який знаходиться в межах від 3,69 до 4,51 Ом; обмотка секцій

якоря складається з 31 витка з проводу діаметром 0,49 мм і має опір електричному струму в межах від 6,3 до 7,7 Ом.

Особливістю стрілочних електродвигунів серії МСП є однополюсне розташування обмоток збудження, що приводить до підвищення магнітного розсіювання. Коефіцієнт магнітного розсіювання досягає під навантаженням 1,25.

На основі приведених вище значень параметрів стрілочного електродвигуна проведені обчислення, необхідні для введення в поле налаштувань машини постійного струму DC Machine моделі стрілочного переводу (рис. 2.9), серед яких: параметри обмотки якоря – R_a , L_a ; параметри обмотки збудження – R_f , L_f ; взаємна індуктивність між обмоткою збудження та обмоткою якоря – L_{af} ; сумарний момент інерції машини і навантаження – J ; коефіцієнт в'язкого тертя – B_m ; коефіцієнт сухого тертя – T_f .

Для того щоб приступити до обчислень щойно вказаних налаштувань необхідно спершу знайти магнітний потік. Його знаходження можна привести після проведення наступних міркувань.

Після підключення двигуна до джерела живлення починає обертатися якор і в його обмотці наводиться електрорушійна сила. Дана ЕРС направлена зустрічно струму в якорі і, отже, напрузі на зажимах електродвигуна і має назву реакції якоря. Напруга U , що підводиться до двигуна, врівноважується реакцією якоря, падінням напруги на опорах обмоток якоря та збудження, щіткового контакту та ЕРС самоіндукції якоря [16]:

$$U = E_a + i \cdot (R_a + R_f + R_u) + L \frac{di}{dt} = E_a + i \cdot R + L \frac{di}{dt}, \quad (2.28)$$

Для сталого процесу в номінальному режимі та з урахуванням опору лінійних провідників рівняння (2.28) спрощується і набуває вигляду:

$$U = E_a + I_i \cdot (R_e + R_a + R_f + R_u), \quad (2.29)$$

де $U = 160$ В – напруга, що подається на двигун;

E_a – противо-ЕРС в якорі;

$I_i = 2,5$ А – номінальний струм в обмотках двигуна;

$R_a = 6,3$ Ом – опір обмотки секцій якоря при температурі $+20^\circ\text{C}$;

$R_f = 3,69$ Ом – опір обмотки збудження при температурі $+20^\circ\text{C}$;

$R_{\dot{u}}$ – перехідний опір щіток;

$R_{\dot{e}}$ – опір лінійних провідників.

Перехідний опір щіток знайдено для номінального режиму роботи з виразу:

$$R_{\dot{u}} = \frac{U_{\dot{u}}}{I_{\dot{i}}}, \quad (2.30)$$

де $U_{\dot{u}} = 1,9$ В – перехідне падіння напруги на пару щіток при рекомендованій щільності струму 10-11 А/см².

З формули (2.29) виражено E_a :

$$E_a = U - I_{\dot{i}} \cdot (R_a + R_f + R_{\dot{u}} + R_{\dot{e}}). \quad (2.31)$$

З іншого боку противо-ЕРС, що наводиться в якорі, також визначається за формулою [13]:

$$E_a = c_e \cdot n \cdot \hat{O}_{\dot{i}}. \quad (2.32)$$

де c_e – коефіцієнт, визначений конструктивними параметрами машини і незалежний від режиму її роботи;

$n = 1700$ об/хв – номінальна частота обертання валу двигуна;

$\hat{O}_{\dot{i}}$ – номінальний магнітний потік магнітного кола двигуна.

Виражено номінальний магнітний потік з виразу (2.32) наступним чином:

$$\hat{O}_{\dot{i}} = \frac{E_a}{c_e \cdot n}, \quad (2.33)$$

Для визначення машинної сталої c_e скористаємося формулою [13]:

$$c_e = \frac{p \cdot N}{a \cdot 60}, \quad (2.34)$$

де $p = 1$ – число пар полюсів;

N – число активних провідників якоря;

$a = 1$ – число пар паралельних гілок простої петльової обмотки.

Індуктивність усіх обмоток двигуна обчислюється за формулою [33]:

$$L = L'_{\dot{B}} + L''_{\dot{B}} + L_{\dot{A}} + L_{\dot{E}} + L_{\dot{A}\dot{I}}, \quad (2.35)$$

де L – повна індуктивність двигуна, Гн;

L'_B – індуктивність обмотки якоря від потоку реакції якоря (при наявності компенсаційної обмотки $L'_B = 0$), Гн;

L''_B – індуктивність обмотки якоря від місцевих потоків розсіювання пазів, Гн;

L_A – індуктивність обмотки додаткових полюсів, Гн;

L_K – індуктивність компенсаційної обмотки, Гн;

L_{Ai} – індуктивність обмоток головних полюсів, Гн.

Для стрілочного двигуна МСП з виразу (2.20) зникають складові L_A та L_K , так як в даному типі двигунів відсутня компенсаційна обмотка та додаткові полюси. Вираз (2.35) набуває вигляду:

$$L = L_{Ai} + L'_y + L''_y \quad (2.36)$$

Параметр індуктивність обмотки збудження L_f , який необхідно вказувати в налаштуваннях моделі машини постійного струму DC Mashine, представляє собою не що інше, як індуктивність обмоток головних полюсів L_{Ai} . Знайдено індуктивність обмоток головних полюсів [34]:

$$L_{гп} = 2 \cdot p \cdot w_{гп} \cdot (\sigma - 1) \cdot \frac{d\Phi}{di}, \quad (2.37)$$

де $w_{гп} = 488$ – число витків головного полюсу;

$\sigma = 1,25$ – коефіцієнт розсіювання магнітного потоку;

$\frac{d\Phi}{di}$ – зміна магнітного потоку у відповідності до зміни струму в обмотці збудження.

Для номінальних значень магнітного потоку та струму в обмотках двигуна індуктивність приймає значення:

$$L_{гп} = 2 \cdot p \cdot w_{гп} \cdot (\sigma - 1) \cdot \frac{\Phi_n}{I_n}, \quad (2.38)$$

Індуктивність обмотки якоря від потоку реакції якоря визначається за формулою [34]:

$$L'_B = 1,05 \mu_0 \cdot 10^{-8} \frac{w_B^2 \alpha^3 l_B D_B k_\mu}{k_\delta \delta}, \quad (2.39)$$

де $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникність повітря;

$w_{\bar{y}} = 24 \cdot 2 = 48$ – кількість послідовно ввімкнених витків обмотки якоря;

$\alpha = 0,65 \div 0,72$ – коефіцієнт полюсного перекриття;

$l_{\bar{y}} = 10$ см – довжина сердечника якоря (сталюного пакета якоря);

$D_{\bar{y}} = 7$ см – діаметр якоря;

$k_{\mu} = 1,25 \div 1,75$ – коефіцієнт насичення сталюних частин;

$k_{\delta} = 1,5$ – коефіцієнт зубчатості якоря;

$\delta = 0,5 \div 0,7$ мм – повітряний зазор між головним полюсом та якорем.

Індуктивність викликану місцевими потоками розсіяння обмотки визначають з формули [33]:

$$L_{\bar{g}}'' = \frac{4l_{\bar{g}} \lambda w_{\bar{g}}^2 \cdot 10^{-8}}{Z} \cdot \mu_0, \quad (2.40)$$

де $\lambda = 0,55 \cdot 10^{-6}$ См/м – провідність потоку розсіювання паза;

$Z = 24$ – число пазів якоря.

В загальному вигляді для двигуна стрілочного переводу з виразів (2.38), (2.39), та (2.40) індуктивність матиме вигляд:

$$L = 2 \cdot p \cdot w_{\bar{a}} \cdot (\sigma - 1) \cdot \frac{\hat{O}_i}{I_i} + 1,05 \cdot \mu_0 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{w_{\bar{y}}^2 \cdot \alpha^3 \cdot l_{\bar{y}} \cdot D_{\bar{y}} \cdot k_{\mu}}{k_{\delta} \cdot \delta} + \frac{4 \cdot l_{\bar{y}} \cdot \lambda \cdot w_{\bar{y}}^2 \cdot 10^{-8}}{Z} \cdot \mu_0 \quad (2.41)$$

Взаємна індуктивність між обмоткою збудження та обмоткою якоря визначена з виразу [30]:

$$L_{af} = \frac{M_i}{I_{ai} \cdot I_{fi}}, \quad (2.42)$$

де $M_n = 1,47$ Н·м – номінальний момент на валу двигуна;

$I_{ai} = I_{fi} = I_i = 2,5$ А – номінальне значення струму в обмотках двигуна.

Далі розраховано значення моменту інерції якоря.

Динамічний момент інерції якоря визначається за формулою [34]:

$$J = (0,55 \div 0,65) \cdot D_a^4 \cdot (l_a + 0,3 \cdot D_a + 0,75 \cdot P_i) \cdot 10^{-12}, \quad (2.43)$$

де $P_n = 0,25$ кВт – номінальна корисна потужність (віддається).

Для адекватної роботи моделі необхідно також враховувати механічні втрати.

Загальні механічні втрати для машин звичайного виконання складають [30]:

$$P_{\text{мех}} = (0,5 \div 2\%) \cdot P_{\text{н}}, \quad (2.44)$$

Зважаючи на невеликі розміри машини, що проектується, прийняте найменше значення механічних втрат, тобто:

$$P_{\text{мех}} = 0,5\% \cdot P_{\text{н}}, \quad (2.45)$$

Крім цього дані втрати можна розрахувати і наступним чином [30]:

$$\ddot{I}_{\text{іао}} = T_f \cdot W_i + B_m \cdot W_i^2, \quad (2.46)$$

де T_f – момент сухого тертя;

B_m – коефіцієнт в'язкого тертя;

$W_i = \frac{n \cdot \pi}{30} = 178$ рад/с – номінальна кутова швидкість обертання валу.

Якщо вважати втрати на тертя і вентиляційні втрати приблизно рівними, то, маючи визначене з формули (2.45) значення механічних витрат $P_{\text{мех}} = 1,25$ Вт, їх можна обчислити за наступними формулами [30]:

$$T_f = \frac{\ddot{I}_{\text{іао}}}{2 \cdot W_i}, \quad (2.47)$$

$$B_m = \frac{\ddot{I}_{\text{іао}}}{2 \cdot W_i^2}. \quad (2.48)$$

З вище перелічених аналітичних виразів (2.26), (2.28) та (2.41), складено систему диференціальних рівнянь, які є математичною моделлю процесів в стрілочному електроприводі:

$$\begin{cases} U = E_a + i(R_{\text{е}} + R_{\text{а}} + R_j + R_{\text{в}}) + L \frac{di}{dt}; \\ r^2 = \left[(T_{\text{а}} - T_L \cdot \text{sign}(W)) - B_m \cdot W - T_f \right] - K_j \left] \frac{dW}{dT}; \right. \\ L = 2 \cdot p \cdot w_{\text{аі}} \cdot (\sigma - 1) \frac{d\Phi}{di} + 1,05 \cdot \mu_0 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{w_{\text{в}}^2 \cdot \alpha^3 \cdot l_{\text{в}} \cdot D_{\text{в}} \cdot k_{\mu}}{k_{\sigma} \cdot \delta} + \frac{4 \cdot l_{\text{в}} \cdot \lambda \cdot w_{\text{в}}^2 \cdot 10^{-8}}{Z} \cdot \mu_0, \end{cases} \quad (2.49)$$

Для створення моделі стрілочного двигуна, використано метричний простір станів.

Метричним простором називається множина X , в якій задана відстань між кожними двома елементами $x \in X$, $y \in X$ у вигляді дійсної функції $\rho(x, y)$, яка задовольняє трьом аксіомам:

1. $\rho(x, y) = 0$ тоді і тільки тоді, коли $x = y$;

2. $\rho(x, y) = \rho(y, x)$ (аксіома симетрії);
3. $\rho(x, z) = \rho(x, y) + \rho(y, z)$ (аксіома трикутника).

Стан системи в довільний момент часу t_0 – це кількість інформації, яка разом зі своїми вхідними змінними однозначно визначає поведінку системи при усіх $t \geq t_0$.

Модель в змінних стану має вид диференціальних рівнянь, але записується в спеціальній формі – як система рівнянь першого порядку [36]. Суть моделі в змінних стану (чи моделі в просторі станів) полягає в тому, що вона зберігає відношення між входом і виходом системи (тобто передаточну функцію), але в той же час дозволяє перейти від одного диференціального рівняння n -го порядку до системи n диференціальних рівнянь першого порядку. Переваги такого представлення в тому, що окрім двох зовнішніх змінних (вхідної і вихідної), в моделі відображаються і всі внутрішні змінні системи. Для представлення моделі в стані просторів використано найбільш загальну систему диференціальних і алгебраїчних рівнянь в абсолютних одиницях:

$$\begin{cases} U = E_a + R \cdot i + L \frac{di}{dt}; \\ J \frac{dW}{dt} = M - M_{\text{іо}}; \\ M = c_M \cdot \hat{O} \cdot i; \\ E_a = c_e \cdot \hat{O} \cdot n. \end{cases} \quad (2.50)$$

де U – напруга на обмотках двигуна; E_a – противо-ЕРС в якорі; R – активний опір усіх обмоток двигуна, а також перехідного опору щіток; i – струм в обмотках двигуна; L – індуктивність усіх обмоток двигуна; $\frac{di}{dt}$ – швидкість зміни струму в електричному колі; J – сумарний момент інерції якоря і навантаження; $\frac{dW}{dt}$ – швидкість зміни кутової швидкості обертання валу; M – електромагнітний момент двигуна; $M_{\text{іо}}$ – момент опору руху; c_M – машинна стала для моменту; $\hat{O}$ – магнітний потік; c_e – машинна стала для ЕРС; n – частота обертання вала двигуна.

З усіх перелічених змінних невідомою залишилась лише машинна стала для моменту. Її значення знайдено з наступного виразу:

$$c_m = \frac{p \cdot N}{2 \cdot \pi \cdot a}, \quad (2.51)$$

де $p=1$ – число пар полюсів;

N – число активних провідників якоря;

$a=1$ – число пар паралельних гілок простої петльової обмотки.

З точки зору майбутньої моделі, вхідними впливами є напруга на обмотках двигуна U та момент опору руху $M_{\text{ю}}$, який складається з приведенного моменту опору руху до валу двигуна T_L (рис. 2.10), який задається блоком From Workspace «Moment» (рис. 2.9), моментів в'язкого $B_m \cdot W$ та сухого T_f тертя. Вихідні змінні: електромагнітний момент двигуна M , що в рівнянні обчислення кутової частоти обертання валу моделі машини постійного струму (2.28) позначено T_e (рис. 2.10), та швидкість обертання валу двигуна W . Змінні стану – змінні, що стоять під знаком похідної: струм в обмотках двигуна i та швидкість обертання валу двигуна W .

Таким чином, вираз для моменту опору руху набуде вигляду:

$$M_{\text{ю}} = T_L + B_m \cdot W + T_f. \quad (2.52)$$

Переписавши четверте рівняння системи (2.34) для явно вираженої кутової швидкості обертання валу, оскільки вона є водночас і змінною стану і вихідним параметром:

$$E_a = \frac{c_e \cdot \hat{O} \cdot 30}{\pi} \cdot W. \quad (2.53)$$

Перетворено перше та друге диференціальні рівняння системи (2.50) до явної форми Коши і виконано підстановку. Система рівнянь прийме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \frac{1}{L} \cdot (-R \cdot i - \frac{c_e \cdot \hat{O} \cdot 30}{\pi} \cdot W + U); \\ \frac{dW}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (c_m \cdot \hat{O} \cdot i - T_L - B_m \cdot W - T_f); \\ M = c_m \cdot \hat{O} \cdot i; \\ W = W. \end{cases} \quad (2.54)$$

Останнє рівняння є відображенням того факту, що змінна стану є одночасно і вихідним параметром.

Введено наступні позначення:

- вхідні змінні: $u_0 = U$, $u_1 = T_L$;
- вихідні змінні: $y_0 = M$, $y_1 = W$;
- змінні стану: $x_0 = i$, $x_1 = W$.

Отже, матриця вхідних змінних, матриця вихідних змінних, та матриця змінних стану приймуть вид відповідно:

$$u = \begin{bmatrix} u_0 \\ u_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U \\ T_L \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M \\ W \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i \\ W \end{bmatrix}.$$

А система рівнянь (2.54) запишеться у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dx_0}{dt} = -\frac{R}{L} \cdot x_0 - \frac{c_e \cdot \hat{O} \cdot 30}{\pi \cdot L} \cdot x_1 + \frac{1}{L} \cdot u_0 + 0 \cdot u_1; \\ \frac{dx_1}{dt} = \frac{c_M \cdot \hat{O}}{J} \cdot x_0 - \frac{B_m}{J} \cdot x_1 + 0 \cdot u_0 - \frac{1}{J} \cdot u_1 - \frac{T_f}{J}; \\ y_0 = c_M \cdot \hat{O} \cdot x_0 + 0 \cdot x_1 + 0 \cdot u_0 + 0 \cdot u_1; \\ y_1 = 0 \cdot x_0 + x_1 + 0 \cdot u_0 + 0 \cdot u_1. \end{cases} \quad (2.55)$$

Переписано систему (2.55) рівнянь в матричній формі:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = A \cdot x + B \cdot u; \\ y = C \cdot x + D \cdot u. \end{cases} \quad (2.56)$$

Де коефіцієнти матриці мають наступний вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{c_e \cdot \hat{O} \cdot 30}{\pi \cdot L} \\ \frac{c_M \cdot \hat{O}}{J} & -\frac{B_m}{J} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J} \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} c_M \cdot \hat{O} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Якість комутації електродвигуна постійного струму один з найважливіших факторів, визначальних його експлуатаційні характеристики [37]. Тому для обґрунтування вибору параметрів діагностування стрілочних переводів з урахуванням комутаційних процесів необхідно привести математичну модель струму комутуваної секції. Зважаючи на наявність магнітного зв'язку між обмоткою якоря і полюсними обмотками двигуна комутаційні процеси в секціях якоря повинні приводити до спостереженню ефектів, що піддаються, в цих останніх обмотках. Зокрема, струм кому-

тації повинен наводити там напругу характерної форми. Встановлення зв'язки параметрів цієї напруги з параметрами струму комутованої секції (додаток А) забезпечить можливість більш точного визначення процесів, які відбуваються на полюсах в момент комутації [38-41].

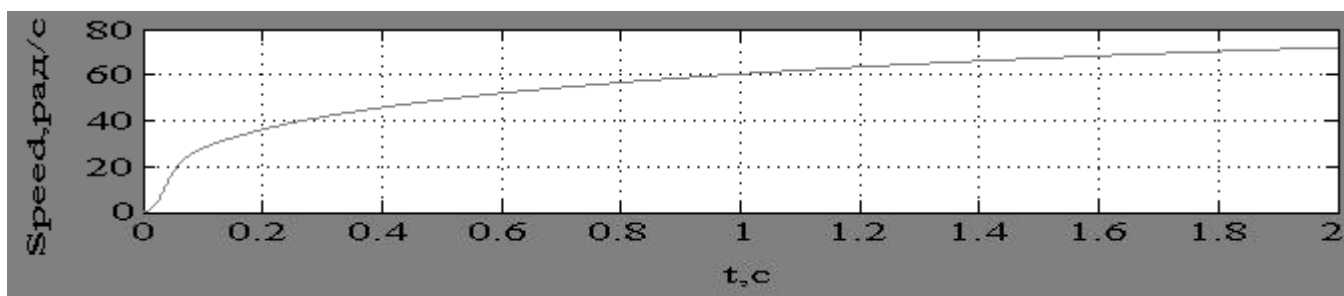
2.4. Реалізація математичної моделі процесів в стрілочному електроприводі

У створеній математичній моделі (рис.2.9) в основу методу обробки сигналів покладено аналіз залежності величини амплітуди струму і характеру її зміни у колі двигуна від моменту на його валу. Момент на валу двигуна можна задавати як у вигляді масиву чисел, так і у відповідності до математичних законів [42], або залежностей, які можна створювати і задавати при проектуванні. Задаючи різні значення моменту на валу двигуна, можна дізнатися поведінку кривої струму в залежності від характеру навантаження.

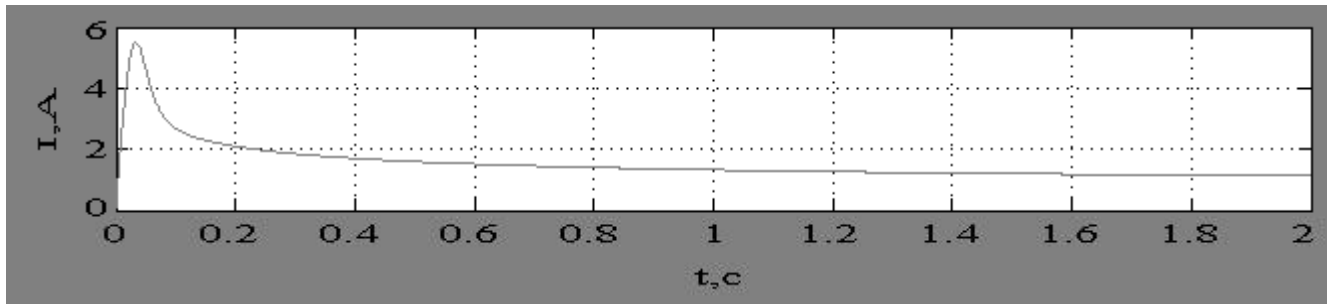
При подачі навантаження на вал двигуна в режимі холостого ходу, логарифмічної та експоненціальної функції (додаток Б), результати роботи моделі співпадають з роботою реальних стрілочних двигунів при відповідних навантаженнях.

Дану модель використано для моделювання роботи стрілочного переводу. Додаткові зміни в моделі при цьому не потрібні, так як часова залежність струму при переводі стрілки залежить від навантаження від стрілочних гостряків на шибєр стрілочного приводу. При моделюванні навантаження на вал двигуна, яке відповідає нормальному переводу стрілки, отримано наступні залежності (рис 2.11.)

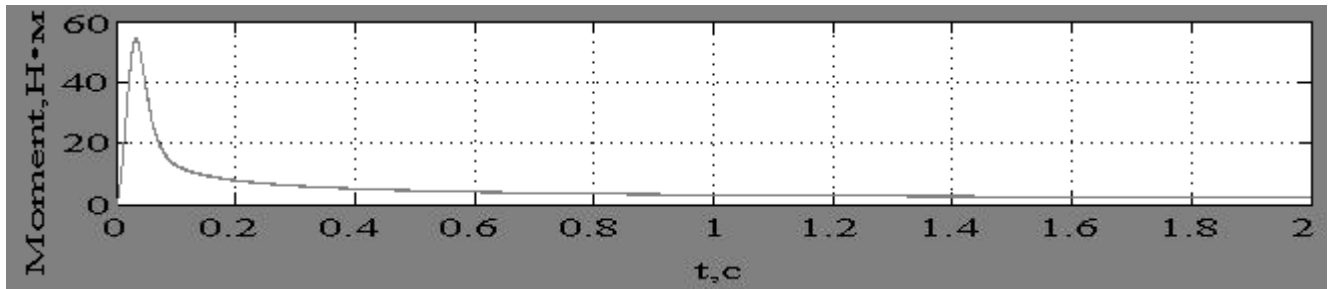
а)



б)



в)



г)

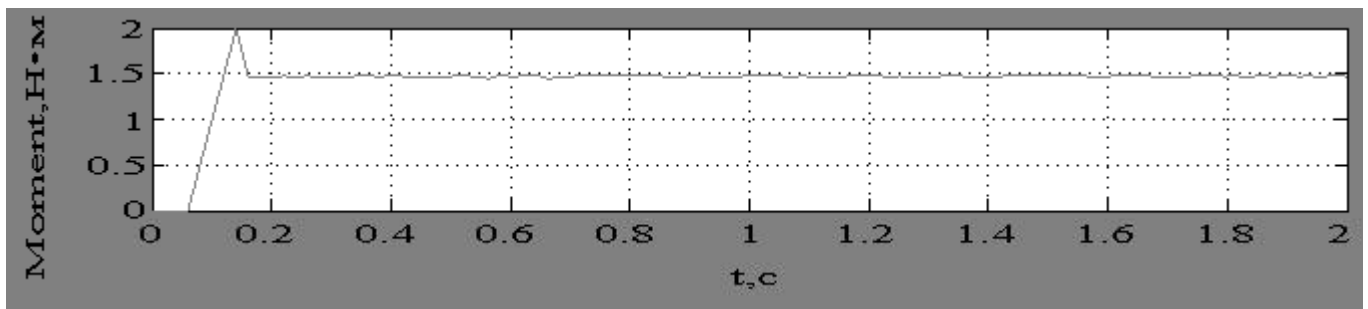


Рис. 2.11. Часові залежності параметрів моделі при нормальному переводі:

a – швидкості обертання валу двигуна; *б* – струму в обмотках збудження та якоря; *в* – моменту на валу двигуна; *г* – моменту опору руху валу.

Для більш детального відображення зміни струму та моменту при нормальному переводі стрілки, змінено масштаб по осі *У* та приведено графіки залежності струму та моменту під час переводу (рис.2.12. та рис.2.13.).

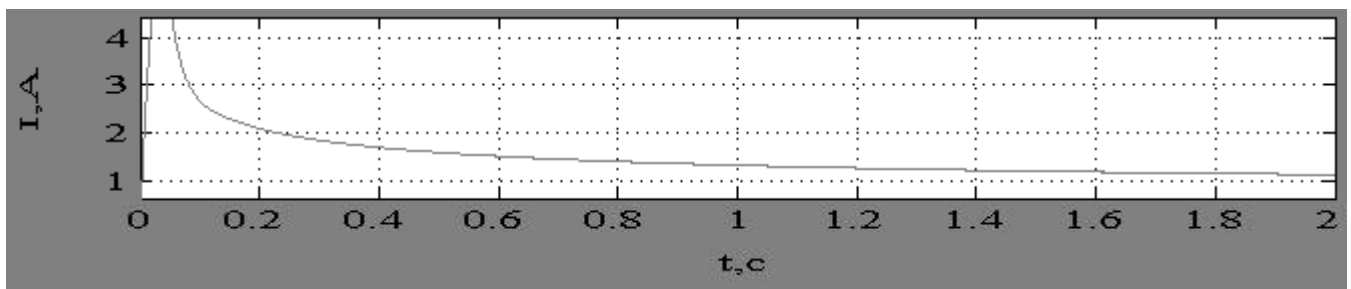


Рис. 2.12. Характеристика зміни струму в робочому колі двигуна моделі стрілочного електроприводу при нормальному переводі.

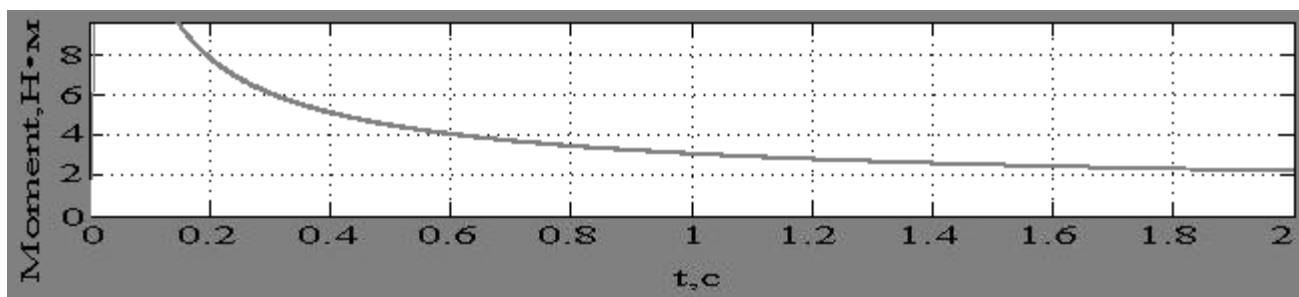


Рис. 2. 13. Характеристика зміни моменту на валу двигуна моделі стрілочного електроприводу при нормальному переводі.

З приведених результатів моделювання можна зробити висновок, що при нормальному переводі стрілки струм в якорі не зростає (рис.2.12), а в не значній мірі зменшується, що пов'язано з рухом гостряків по змащених подушках за інерцією. При моделюванні таких відмов як биття гостряків, забруднення подушок та робота стрілочного переводу на фрикцію, результати роботи моделі співпадають з експериментальними дослідженнями та при рівні значимості 5% модель адекватна (додаток В).

2. 5. Застосування функціонального діагностування для контролю стану стрілочного переводу

Об'єктами дослідження технічної діагностики можуть бути будь-які технічні системи, які задовольняють двом умовам: можуть перебувати, принаймні, у двох взаємовиключних і різних станах (працездатному й непрацездатному); у них можна виділити елементи, кожний з яких також характеризується зазначеними різними станами [43-45].

Стрілочний перевід повністю відповідає цим вимогам, тобто може бути представленим як об'єкт технічної діагностики. Стан стрілочного переводу визначається параметрами, за якими характеризується дана система. В якості параметрів можуть виступати значення сигналів на виходах системи, і можливості системи виконувати ті або інші окремі функції.

Розрізняють чотири види станів стрілочного переводу: справні, несправні, працездатні й непрацездатні. Стрілку називають справною, якщо вона відповідає всім поставленим до неї вимогам, тобто всі її параметри, як основні, так і допоміжні перебувають у межах заданої норми. Вихід за межі будь-якого параметра означає що стрілка несправна. Стрілочний перевід перебуває в працездатному стані, якщо його

основні параметри перебувають у межах заданої норми й він правильно виконує задані функції. Вихід хоча б одного основного параметра за межі заданої норми переводить стрілку в множину непрацездатних станів[46-49].

Повна множина можливих станів стрілочного переводу

$$W = A \cup B \cup C, \quad (2.57.)$$

де: А- множина станів справних стрілок;

В- множина станів несправних, але працездатних стрілочних переводів;

С- множина станів стрілок, що відмовили.

Множина станів працездатних і несправних стрілок відповідно:

$$W_1 = A \cup B, \quad (2.58.)$$

$$W_2 = B \cup C. \quad (2.59.)$$

Стрілочні переводи конструюються таким чином, щоб при всіх найбільш імовірних відмовах їх елементів не відбувався перехід з множини А в множину С, а система переходила б у множину В. У цьому випадку стрілка продовжує виконувати свої основні функції, але є можливість зафіксувати несправність і усунути її, тим самим попередивши втрату стрілкою працездатності [49].

Складність діагностики стрілочних переводів полягає в тому, що можна застосовувати тільки функціональний діагноз. При функціональному діагнозі на об'єкт діагнозу надходять тільки робочі впливи, передбачені робочим алгоритмом функціонування стрілочного переводу. Система діагнозу працює в процесі робочого функціонування стрілочного переводу й вирішує завдання перевірки правильності функціонування й пошуку несправностей, що порушують роботу об'єкта стрілки. В остаточному підсумку процедура діагнозу зводиться до порівняння роботи ідеального пристрою (часової залежності струму переведення стрілки) і реального досліджуваного пристрою.

Для стрілочного переводу використання активних діагностичних засобів представляється проблематичним, тому що подаючи контрольні сигнали по двохпроводній схемі стрілки (вхід системи електричної централізації) немає виходу з якого можна знімати реакцію системи. Якщо на вхід подавати звичайний робочий сигнал у якості контрольного, то реакцією системи можна вважати переведення стрілки. Але

в цьому випадку не має змоги отримувати додаткову інформацію про об'єкт крім визначення його належності до множини станів **В** чи **С** (працездатності або не працездатності). Крім цього такий вплив можливо робити тільки в тих інтервалах часу, коли стрілка не задіяна в поїзній або маневровій роботі. З вищесказаного можна зробити висновок що для стрілочних переводів не раціонально використовувати активні технічні засоби, і варто розробляти пасивні засоби, які не вимагають посилок на вхід системи додаткових контрольних сигналів [50-52].

У системах електричної централізації які функціонують на цей час на залізницях України вже є вбудований функціональний контроль чотирьох положень стрілочного переводу - нормальне (плюсове), переведене (мінусове), проміжне (середнє) і взрізу. Контроль параметрів стрілочного переводу здійснюється головним чином при профілактичних вимірах і при періодичній заміні апаратури. Тому раціонально припустити, що засоби технічного діагностування стрілки повинні містити функціональний контроль чотирьох положень і автоматичний контроль таких параметрів як час переведення стрілки, контроль за струмом стрілочного двигуна, контроль за щільністю прилягання гостряка до рамної рейки і т.д.

З перерахованого вище можна зробити висновок що технічні засоби діагностування стрілочного переводу повинні бути пасивними, автоматичними, містити в собі параметричний і функціональний контроль, виконувати функції визначення справності, працездатності й прогнозування відмов стрілки.

2. 6. Обґрунтування необхідності вибору нових діагностичних ознак для стрілочного приводу

З метою забезпечення надійної роботи систем регулювання рухом поїздів, передбачено проведення періодичного контролю параметрів апаратури залізничної автоматики безпосередньо під час її експлуатації [53]. Недоліком існуючої технології обслуговування пристроїв є значні затрати ручної праці та часу, неможливість своєчасного попередження відмов стрілки. Крім цього виявлення тієї чи іншої відмови фіксує обслуговуючий персонал візуальним оглядом, що не дає необхідної точності та достовірності. Це зумовлює необхідність розробки систем автоматичного діагностування та контролю пристроїв залізничної авто-

матики. Навіть в системах нового покоління диспетчерської централізації рішення про відмови приймається оператором [54-56]. Розглянуто можливості діагностики та контролю стрілочних переводів. Автоматизація контролю стрілочного переводу є актуальною задачею. Для контролю параметрів переводів під час експлуатації використовується вимірювання струму стрілочного електроприводу при переводі стрілки в плюсове та мінусове положення з наступним аналізом цих залежностей, з результатів вимірювань можна проводити контроль параметрів, що визначені нормативною документацією (робочий струм переводу час переводу стрілки та ін.), а також додаткові параметри, що дозволять провести діагностування стрілочного приводу та прогнозування його роботи. З цією метою використовують часові та частотні залежності струму переводу стрілки. Часова залежність струму переводу стрілки має складну форму, на яку впливає значна кількість як детермінованих (тип стрілочного переводу, тип використовуваного двигуна, та ін.), так і випадкових факторів (погодні умови, забруднення і т.д.), а також можливі дефекти стрілочного переводу. З урахуванням цього, визначення характерних точок на кривій струму переводу стрілки, параметри яких можна прийняти за діагностичні ознаки є невирішеною задачею. Особливе значення задача набуває при формалізації вибору параметрів контролю та діагностичних ознак для автоматичного діагностування стрілочних переводів [57].

2.7. Визначення відмов стрілочного електродвигуна по часовій та частотній залежності струму переведення стрілки

Методика проведення вимірювань

В стрілочних переводах в основному використовуються двигуни постійного струму з послідовним підключенням обмотки збудження з якорем. Живлення цих двигунів постійним струмом відбувається або від робочої акумуляторної батареї, або при новому будівництві, від трьохфазного випрямляча. Більшість експериментальних даних були зняті на станції Нижньодніпровськ–Вузол з реально працюючих стрілок станційного парку «Е», але деякі несправності, які не було змоги зафіксувати на залізничній станції, були промодельовані на стрілочному переводі навчального полігону кафедри «Автоматики, телемеханіки та зв'язку». При експериментальних вимірах було знято

ряд часових залежностей при нормальному переводі стрілки, та при різних відмовах стрілочного двигуна та стрілочного переводу. Кількість стрілок з різними типами несправностей, та типи вимірюваних стрілок приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Результати експериментальних досліджень стрілок

Тип стрілочного переводу та стрілочного двигуна	Несправності які виявлені на стрілці	Кількість стрілок
Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП -0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.	Зменшення опору лінійних провідників Л1 та Л2	5
Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.	Відсутність зазору в корені гостряка стрілки, або віджим рамної рейки.	6
Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.	Забруднення подушок стрілки (недостатньо якісне обслуговування працівниками служби колії)	5
Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/9, двигуни постійного струму МСП- 0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.	Забруднення подушок стрілки (недостатньо якісне обслуговування працівниками служби колії)	3
Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП -0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.	Засипання стрілочного переводу сипучими матеріалами	2
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.15 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні		1

Продовження табл. 2.1.

Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.	Люфти в з'єднаннях робочої тяги стрілки	4
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигун постійного струму МСП- 0.15 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні		1
Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП -0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.	Перевищення максимально допустимої величини струму при переводі стрілки	3
Перехресний стрілочний перевід ввімкнений в електричну централізацію, марка хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП -0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.		4
Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП -0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.	Перевищення максимально допустимої величини струму при роботі стрілки на фрикцію	6
Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/9, двигуни постійного струму ДП- 0.18 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.		3
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.15 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні		3

Продовження табл. 2.1.

Стрілки ввімкнені в електричну централізацію, марка хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП -0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні.	Вихід з ладу блока випрямляча	5
	Обмерзання або забруднення контактів автоперемикача	
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні	Обрив секцій обмоток якоря двигуна, або прогнання ламелей	5
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.15 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні		4
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні	Коротке замикання в якорі двигуна	5
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.15 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні		3
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні	Дефекти підшипників двигуна	1
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.15 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні	Забруднення колектора двигуна та іскріння на щітках	2
Стрілка з маркою хрестовини 1/11, двигуни постійного струму МСП- 0.25 з робочою напругою 160 В, рейки Р65 залізобетонні на кафедральному полігоні	Коротке замикання в статорі двигуна	2

Вимірювання на кожній стрілці проводились при переведенні стрілки в плюсове та мінусове положення не менш як по три рази (по 6 вимірів на кожну стрілку), при чому проводились виміри на кожній стрілці по декілька разів для різних погодних умов.

Схема вимірювань приведена на рис.2.14.

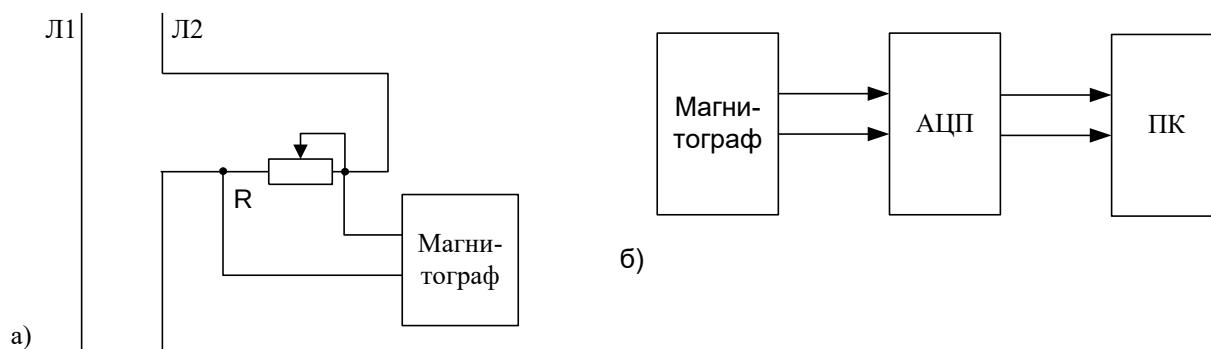


Рис.2.14. Структурна схема проведення вимірювань.

На діючій стрілці електричної централізації замість вимірювальної дужки на стативі встановлювався реостат з опором 1Ом, паралельно якому підключався магнітограф (рис 2.14.а). При переводі стрілки черговим по станції, падіння напруги на встановленому резисторі фіксувалось магнітографом на магнітний носій інформації. Вимірювання виконувались в будівлі поста електричної централізації за допомогою екранованих з'єднувальних провідників, тобто перешкоди які могли наводитись на кабель зведені до мінімуму. Після закінчення вимірювань на стрілках, в лабораторних умовах до магнітографу підключили аналогово-цифровий перетворювач, вихід якого приєднали до комп'ютера. Після чого виконувалась оцифровка даних, які зберігались на магнітному носії інформації. Як видно з таблиці 2.1, більшість даних отримані від великої кількості об'єктів, тобто їх достатньо для статистичного аналізу. Але деякі відмови в зв'язку з їх специфікою отримані в не великій кількості. Наприклад дефекти підшипника двигуна стрілочного приводу на практиці зустрічаються дуже рідко, і при такій відмові стрілка виходить з ладу після декількох переводів (розбивається щіточно-колекторний вузол). Тому таку відмову на стрілках які експлуатуються на станції зафіксувати не має змоги, і виміри проводились на кафедральному полігоні.

Обробка отриманого сигналу від двигуна МСП 0.25 по часовій залежності струму при переведенні стрілки проведено наступним чином. Часова залежності струму при переведенні стрілки із справним електродвигуном постійного струму має наступний вигляд (рис 2.15).

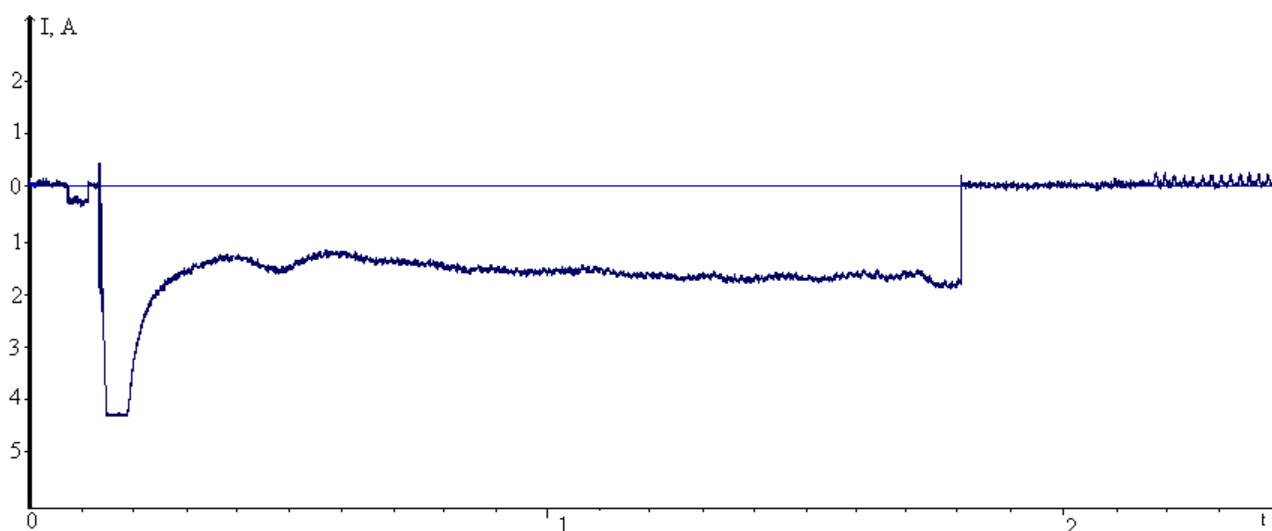


Рис.2.15. Стрілка нормально працює, двигун без несправностей.

Експериментальні дані співпадають з результатами моделювання на створеній математичній моделі (рис.2.11) і підтверджують її адекватність.

При діагностиці двигуна в ремонтно-технологічній дільниці необхідно враховувати, що так як перевіряють стрілочні двигуни постійного струму з послідовним збудженням, а двигуни такого типу не можуть працювати без навантаження, то при перевірці двигунів типу МСП – 0.25, МСП – 0.15, МСП – 0.1, їх навантажують редуктором стрілочного переводу. Часова залежність струму при перевірці відрізняється від часової залежності струму при переведенні стрілки на станції наступними відмінностями. При переведенні стрілки навантаження на двигун більше, і відповідно рівень сигналу буде нижчим. При переведенні стрілки перед початком роботи двигуна спочатку спрацьовує реле ППР, що і відображено на (рис .2.15) в вигляді сплеску перед кривою струму переведення стрілки. При перевірці двигуна в ремонтно-технологічній дільниці відсутня схема включення стрілки і відповідно реле ППР. Також в ремонтно-технологічній дільниці при перевірці двигунів живлення двигуна відбувається не від робочої батареї, а від звичайного випрямляча трьохфазного або однофазного. При цьому на часовій залежності струму будуть з'являтися пульсації на частоті 50 та 100Гц, які при аналізі переводу не потрібно брати до уваги. В реальній часовій залежності струму при переведенні стрілки (рис.2.6), пульсації від випрямляча також присутні, так як при новому будівництві на постах електричної централізації не встановлюються робочі батареї акумуляторів, а ставиться трьохфазний випрямляч, основний і резервний.

Як видно з наведених вище відомостей, для виявлення принципів діагностування двигунів в ремонтно-технологічній дільниці, можна проводити аналіз часових залежностей струму при переведенні стрілки знятих на стрілочних переводах, але з урахуванням фактів, приведених вище.

Часовий аналіз відмов стрілочного двигуна

Часову залежність струму при переведенні стрілки можна розбити на три ділянки (рис.2.15) Перша ділянка включає різкий скачок струму при запуску електродвигуна і початку роботи редуктора. Значення струму на цій ділянці може досягати трьох або чотирикратного значення номінального струму. Це відбувається тому що активний опір обмоток двигуна має малу величину, частота обертання також невелика, шестерні редуктора ще не ввійшли в зачеплення і фактично двигун працює в холостому режимі. В зв'язку з цим і виникає такий різкий скачок струму. В двигунах даного типу обмотка збудження включена послідовно з обмоткою якоря, тобто $I_B = I_A$; тому магнітний потік Φ є деякою функцією струму якоря. Доцільно магнітну характеристику представити у вигляді трьох ділянок (рис 2.16.):

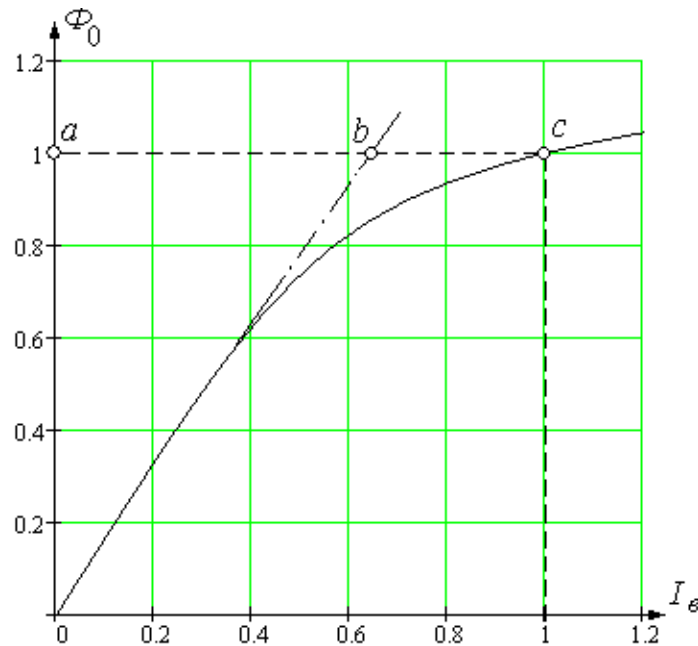


Рис.2.16. Магнітна характеристика двигуна постійного струму.

- 1) в початковій „не насиченій“ частині існує лінійна залежність $\Phi = f(I_A)$ [12], тобто

$$\Phi = c\phi \times I_A \text{ при } I_A < (0.8 \div 0.9) \cdot I_{A \text{ ном}}. \quad (2.60).$$

- 2) коли на двигуні струм в якорі вищий номінального (правіше точки С) можна вважати, що магнітний потік залишається незмінним, тобто $\Phi = const$;

- 3) третя ділянка — перехід від лінійної „не насиченої“ ділянки до „насиченої“, де між потоком Φ і струмом I_A існує складна залежність[13].

Для першої ділянки часової залежності струму при переведенні стрілки двигун працює на другій ділянці магнітної характеристики, де магнітний потік залишається практично незмінним.

Друга ділянка часової залежності струму при переведенні стрілки представляє собою пряму, при якій двигун працює під навантаженням редуктора, і струм на двигуні не перевищує номінального значення. Відповідно двигун працює на першій ділянці магнітної характеристики. Третя ділянка кривої це згасання струму при зупинці двигуна. На цій ділянці струм також менший номінального струму якоря, тобто магнітна характеристика відноситься до першої ділянки. Для діагностування в ремонтно-технологічній дільниці використовується тільки друга ділянка.

За формою часової залежності струму при переведенні стрілки на цій ділянці, визначено несправності, перелік яких приведений в таблиці 2.1. Крім приведених несправностей двигуна, котрі можна контролювати і діагностувати, в двигуні можливі ще такі несправності як перегрів двигуна та падіння ізоляції обмоток відносно корпусу. Завдяки короткочасному режиму роботи двигуна при експлуатації, перегрів обмоток практично не відбувається, а падіння ізоляції у стрілочних двигунів виникає дуже рідко (в статистиці відмов двигунів менше 1%).

Частотний аналіз відмов стрілочного двигуна

Крім порівняння кривої часової залежності струму по формі, також багато інформації надає спектральний аналіз другої ділянки кривої струму.

Спектральний аналіз - це один з методів обробки сигналів, який дозволяє охарактеризувати частотний склад сигналу, що вимірюється. Перетворення Фур'є є математичною основою, яка зв'язує часовий або просторовий сигнал (або ж деяку модель цього сигналу) з його уявленням в частотній області [58,59].

Пряме дискретне перетворення Фур'є кінцевої періодичної послідовності $x(nT)$, $n = 0, 1, \dots, N-1$ визначається виразом:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot e^{-j2\pi nk/N} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n W_N^{nk}, k = 0, 1, \dots, N-1. \quad (2.61)$$

де: $T=1/F$ – інтервал часової дискретизації сигналу $x(t)$;

F – частота дискретизації;

n – номер дискретного вибору (відмінності) сигналу;

k – номер спектрального компоненту сигналу;

$\Omega = 2\pi/NT$ - частота основної (першої) гармоніки сигналу;

$W_N = \exp(-j2\pi/N) = \exp(-j\Omega T)$ - фазовий множник (множник повороту).

Зворотне дискретне перетворення Фур'є має вигляд:

$$x(nT) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k\Omega) e^{j2\pi nkt/N} = \sum_{k=0}^{N-1} X_k W_N^{-nk}, \quad (2.62)$$

Краще всього використовувати спектральний аналіз за допомогою дискретного перетворення Фур'є. Так як програма яка реалізує перетворення Фур'є не складна і при не великій кількості точок в оцифрованому сигналі досить швидко виконується обчислювальною машиною, що надає змогу проводити аналіз відразу після переведення стрілки і до роботи з іншим стрілочним переводом. Таким чином при використанні спектрального аналізу на основі перетворення Фур'є не виникає черга в обробці інформації.

На рис 2.17 приведений спектр сигналу при роботі стрілки, часова залежність струму при переведенні якої наведена на рис. 2.15.

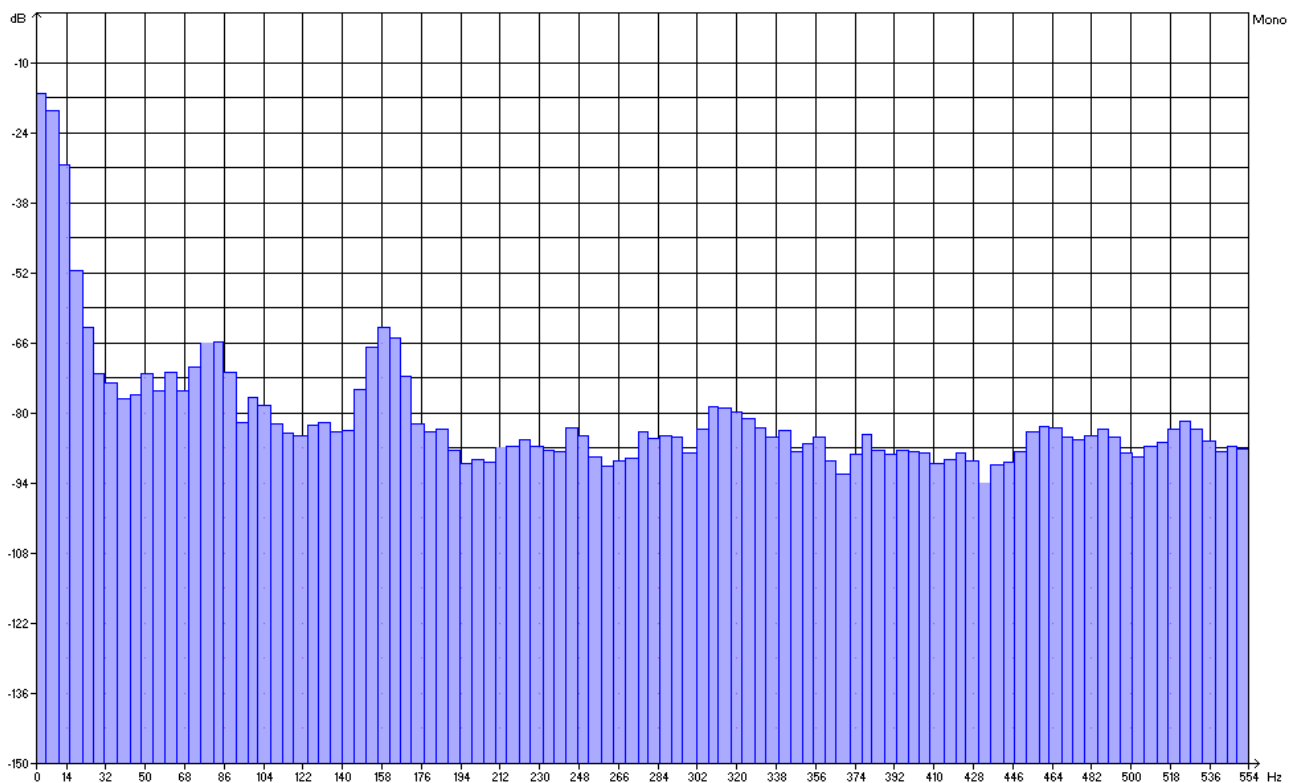


Рис.2.17. Спектр сигналу при нормальному переводі.

Спектральний аналіз, як і аналіз по формі сигналу можна проводити за допомогою багатьох типових пакетів програмного забезпечення. Для проведення аналізу використано програму побудовану для цього в середовищі MAPLE. Спектральний аналіз приведений на рис.2.17. проведено лише для другої ділянки рис. 2.15, так як при спектральному аналізі всієї часової залежності струму при переведенні стрілки, з'явиться багато „піків”, які будуть заважати правильному аналізу несправностей. Для другої ділянки справедлива наступна швидкісна характеристика двигуна. Вважатимемо, що магнітне коло двигуна не насичене або насичене дуже слабо, то враховуючи (2.60.) та підставивши значення магнітного потоку в рівняння швидкісної характеристики

$$n = U - I_{\text{я}} \times \sum R / (C_e \times \Phi) \quad (2.63.)$$

і розділивши почленно чисельник на знаменник, отримаємо

$$n = U / (C_e \times C_{\phi} \times I_{\text{я}}) - \sum R / (C_e \times C_{\phi}) = C_1 \times U / I_{\text{я}} - C_2 \quad (2.64.)$$

де C_1 та C_2 – сталі.

Як видно частота обертання обернено пропорційна струму навантаження, тобто вираз (2.64) є рівняння гіперболи (рис 2.18.)

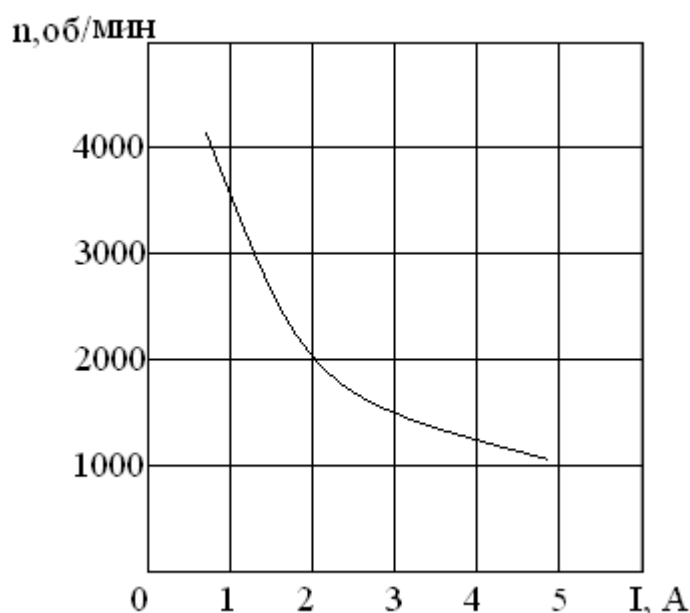


Рис. 2. 18. Швидкісна характеристика двигуна МСП 0,25.

При великому рівні струму, коли насичається магнітний коло і не існує прямої пропорційності між магнітним потоком і струмом якоря, характеристика дещо відхиляється від гіперболи і “випрямляється”. Така швидкісна характеристика буде на

першій ділянці кривої часової залежності струму стрілочного двигуна. Постійна C_2 в рівнянні (2.64.) може бути різною залежно від того, чи є включений в коло якоря резистор і який його опір. В стрілочних двигунів постійного струму типу МСП та ДП в коло якоря додатково ввімкнених резисторів немає, але в залежності від типу двигуна опір якоря різний, і відповідно різні швидкісні характеристики. На рис. 2.64. приведена характеристика для двигуна МСП 0,25 з номінальною напругою 160 В, та струмом 2,5 А.

2.8. Визначення діагностичних ознак для стрілочних двигунів за допомогою експериментальних даних

Визначено діагностичні ознаки для такої відмови як обрив в якорі стрілочного двигуна. Експериментально отримана крива часової залежності струму при даному типі відмови, приведена нижче (рис. 2.19.)

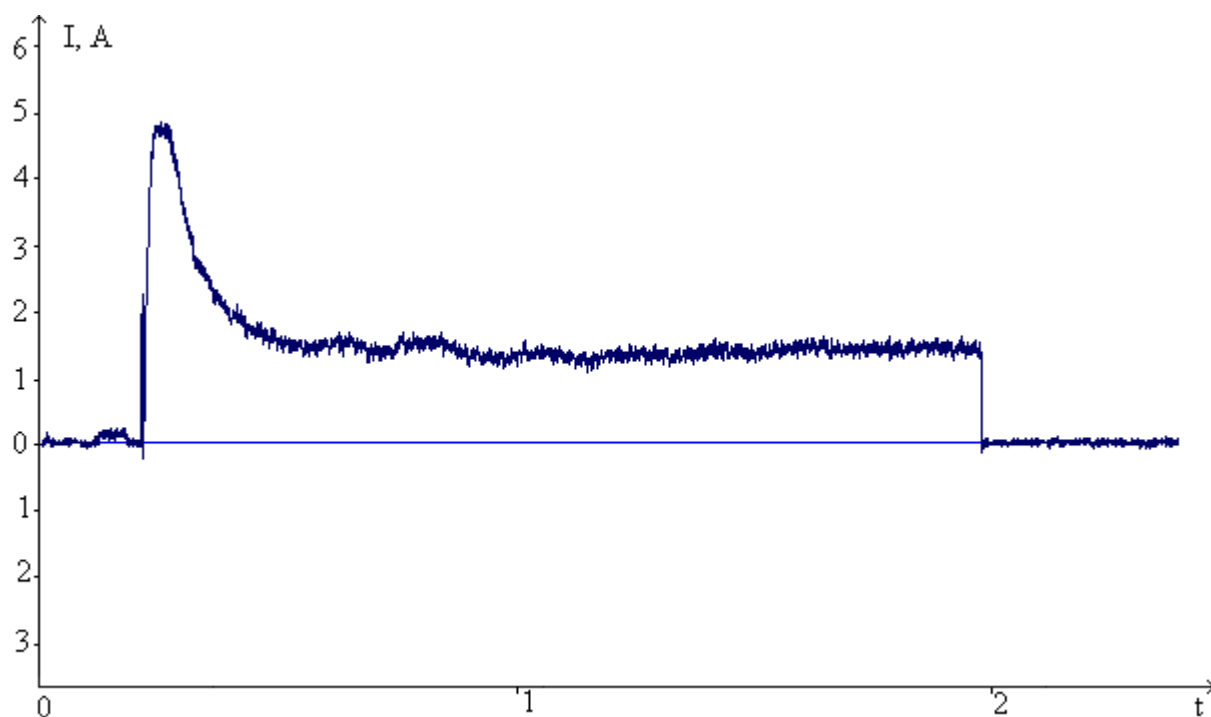


Рис. 2. 19. Часова залежність струму переведення стрілки при обриві в якорі.

Отримавши таку форму вимірюваного сигналу можливо зробити припущення що в двигуні відбувся обрив декількох провідників в якорі. Така гіпотеза ґрунтується на наступних міркуваннях. Часова залежність струму на другій ділянці має гострі “піки”, що характеризують виникнення змінної складової в часовій залежності струму (рис.2.19.). Цей експеримент проводився на тому самому

стрілочному переводі що і при нормальному переводі (рис.2.15) але справний двигун МСП–0.25 був замінений на двигун такого ж типу з обривом кількох жил в колекторі двигуна.

Причиною виникнення стрибків амплітуди струму є зміна активного опору ланцюга якоря, а у формулі для визначення струму якоря (2.65), активний опір якоря знаходиться в знаменнику і по ходу обертання двигуна при попаданні під щітки ламелей, що підгоріли, змінюється:

$$I_{\text{я}} = \frac{U - (n \times C_e \times \Phi)}{R_{\text{я}} + R_{\text{е}} + R_{\text{л}}} ; \quad (2.65.)$$

Де $R_{\text{я}}$ – опір якоря; $R_{\text{е}}$ – опір обмотки збудження; $R_{\text{л}}$ – опір лінійних провідників; n – частота обертання; Φ – магнітний потік; U – напруга; C_e – постійна складова, яка залежить від конструкції двигуна.

При зміні величини $R_{\text{я}}$ змінюється струм який протікає в якорі, а оскільки двигун з послідовним збудженням, то струм $I_{\text{я}}$ є струмом який протікає по лінійних провідниках. Ці зміни і приводять до виникнення “піків”. Залежно від кількості обірваних секцій змінюватиметься величина амплітуди “піків”. Для даного випадку при обриві кількох провідників в колекторі на часовій залежності струму візуально не дуже добре видно виникнення змінної складової, а при обірваній одній ламелі, “піки” будуть мати набагато більшу амплітуду так як активний опір якоря при попаданні цієї ламелі під щітку буде значно зростати.

Але навіть обрив одного із провідників досить легко виявити, якщо провести спектральний аналіз сигналу (рис 2.20).

Зі спектру сигналу (рис.2.20.) чітко простежується поява піків на частотах 100-120, 230-240 Гц, 350-360 Гц, 470-480 Гц. Спектр при нормальному переводі не перевищує - 75 Дб, за виключенням низьких частот (до 100Гц), які з’являються при переводі стрілки, та стрибка амплітуди на частоті 140-170 Гц, який зумовлений шумом від випрямлячів. Так як на рис.2.20. приведений спектр всього сигналу переводу стрілки, то обрив в секціях якоря, зафіксований на першій ділянці кривої струму, де струм досягає 4,2 ампера, буде змішуватись з спектром струму під час руху гостряків. По швидкісній характеристиці (рис 2.18) отримано частоту обертання 1200 обертів за хвилину, і відповідно

20 обертів за секунду для струму 4,2 ампера. На спектральному аналізі рис 2.20. приведено обрив однієї з секцій якоря, тобто за формулою (2.65) опір в ланцюзі живлення змінюється при проходженні ламелі під щіткою. Тобто ламельна частота при даному струмі дорівнює $20 \cdot 12 = 240$ Гц. Піки ж на вище перелічених діапазонах сягають від -70 до -58 Дб. Нам зручно проводити аналіз на частотах вищих за 100 Гц, так як при менших частотах виникають сплески напруги від випрямлячів, котрі працюють в буфері з робочою батареєю акумуляторів. Причому спектральний аналіз необхідно проводити на другій ділянці часової залежності струму, де гостряки стрілки знаходяться в русі і струм змінюється в не значній мірі. При проведенні спектрального аналізу на більш широкому діапазоні, стає очевидним що в діапазоні вище 7кГц, проводити дослідження не зручно, так як на більш високих частотах по осі абсцис аналіз обмежений частотою дискретизації, а в спектрі до 7кГц, найвищі гармоніки спостерігаються на частотах до 1000 Гц.

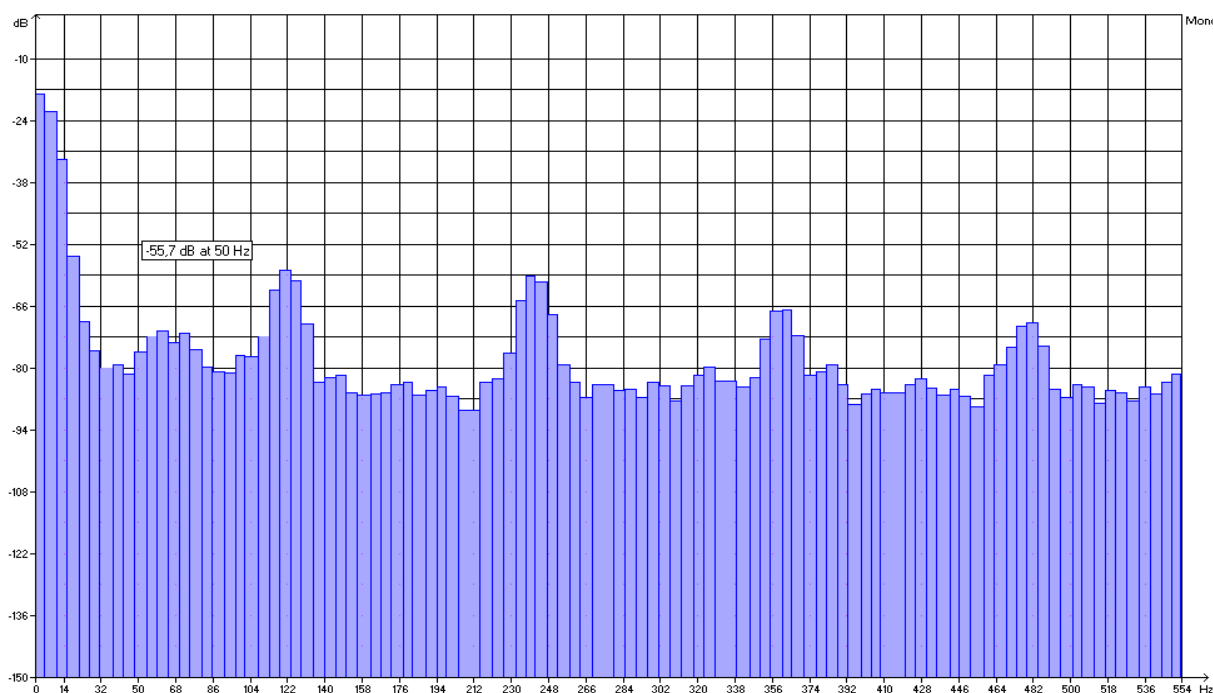


Рис. 2. 20. Спектр сигналу при обриві в якорі.

З вищенаведеного можна зробити висновок, що аналіз по амплітуді необхідно робити на діапазоні 200-1000 Гц. Спектр сигналу переводу стрілки без відмов на даному діапазоні має наступний вигляд (рис. 2.21). А спектр сигналу з обривом провідника в колекторі приведений на рис 2.22.

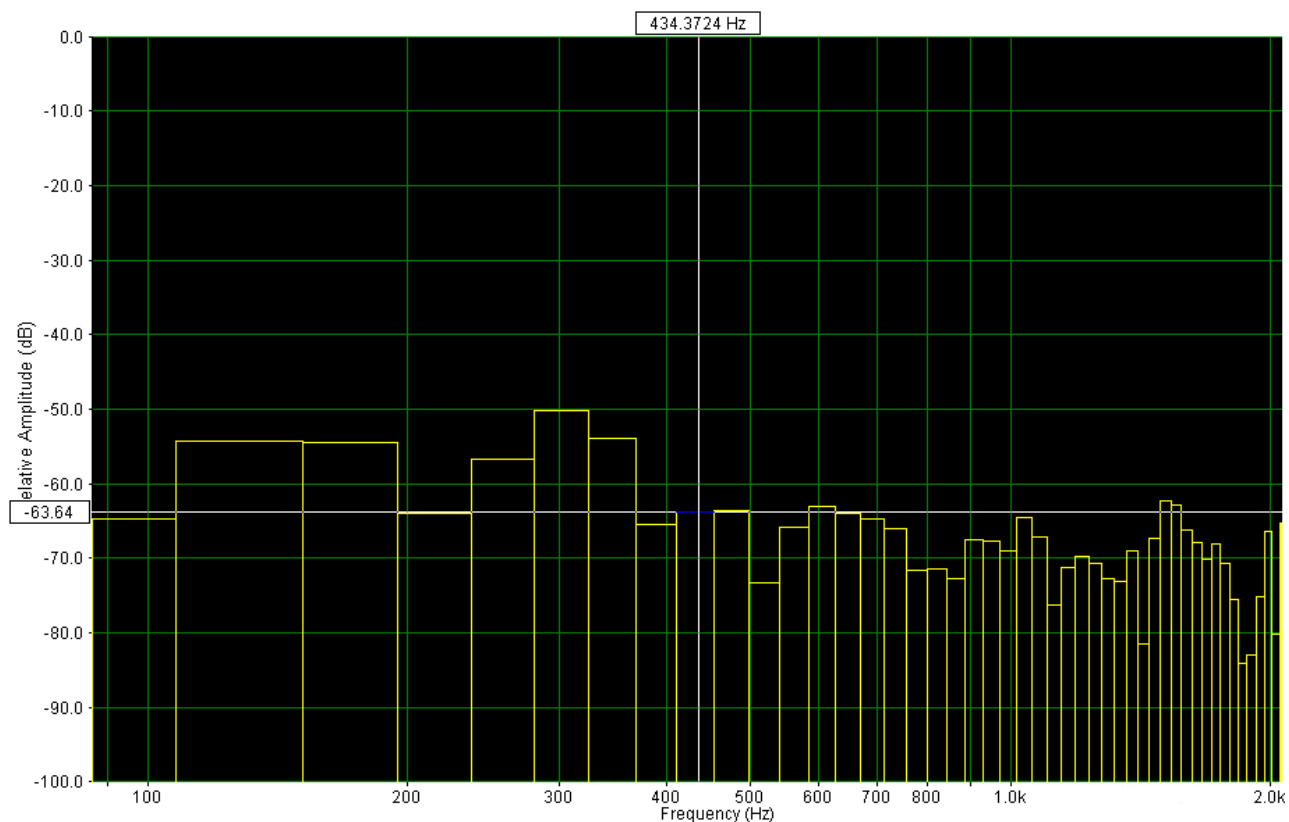


Рис. 2. 21. Спектр сигналу при нормальному переводі на діапазоні до 2 кГц.

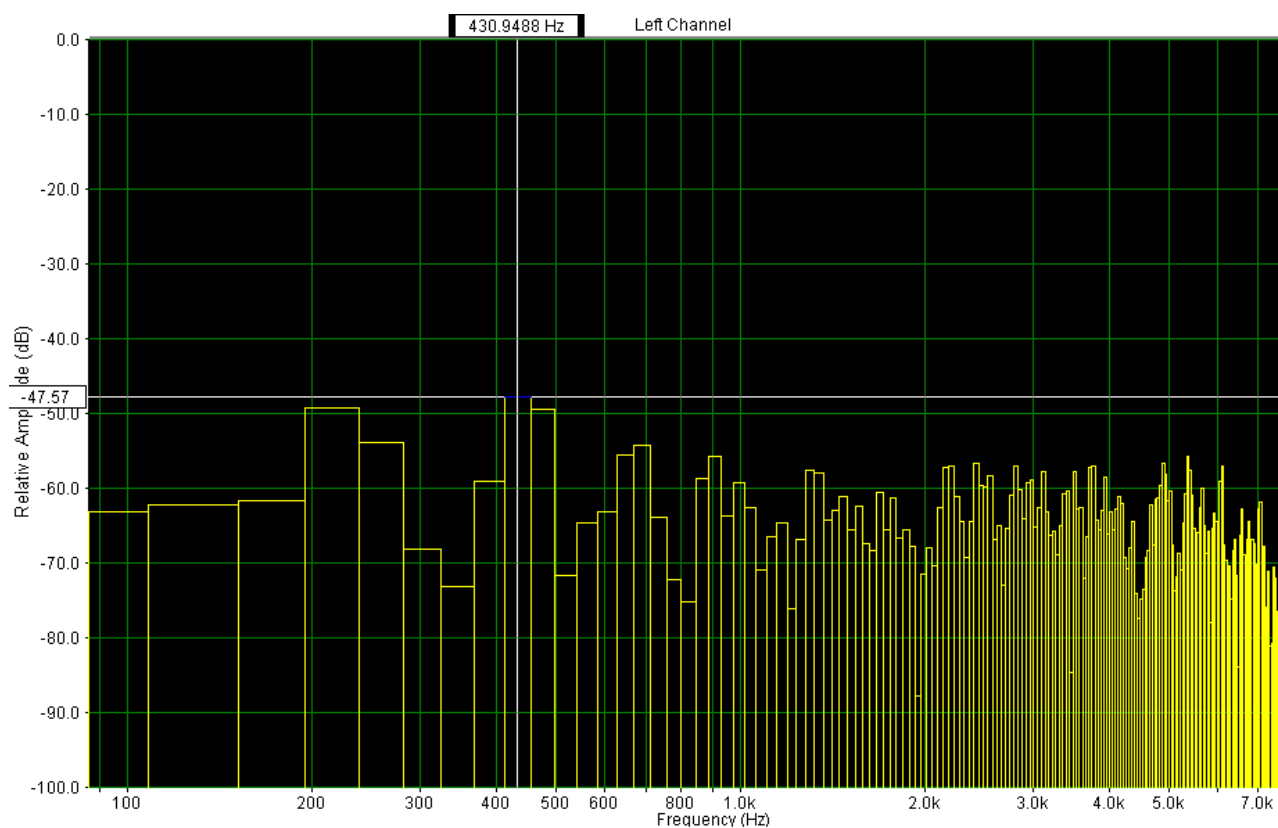


Рис. 2. 22. Спектр сигналу при обриві провідників в якорі на діапазоні до 7,5 кГц.

Спектральний аналіз проводився тільки на другій ділянці, де струм дуже різко не змінюється, і відповідно за допомогою швидкісної характеристики відомо діапазон частот, на яких з'являється пульсація спектру, при обриві провідника. Струм в цьому випадку для даної стрілки складає 1,9 ампера і по швидкісній характеристиці двигуна визначено швидкість обертання як приблизну до 2150 обертів за хвилину. За секунду одержано 35,8 обертів і відповідно ламельна частота складає $35,8 \cdot 12 = 429,6$ Гц. А якщо прийняти діапазон можливої амплітуди струму при нормальному переводі та при заданій відмові для відповідного типу стрілочного переводу, то по швидкісній характеристиці отримано діапазон частот обертання, а відповідно до формули 2.65. отримано діапазон частот для пошуку даного типу нестравності. Частота при якій спостерігається максимальний спектр не співпадає ідеально, тому що при визначенні швидкості обертання з швидкісної характеристики з графіка визначається з не великою точністю, але при порівнянні з нормальним переводом стрілки (рис.2.21) чітко видно зростання гармонік в заданому діапазоні.

При такій відмові як забруднення колектора або іскріння на щітках, форма часової залежності струму при переведенні стрілки на другій ділянці буде аналогічна формі часової залежності струму при обриві секцій обмоток якоря (рис 2.22), але оскільки опір якоря змінюватиметься у меншій мірі, відповідно і піки будуть меншої амплітуди. При спектральному аналізі, піки амплітуди також будуть на діапазоні 200-1000 Гц, але амплітуда їх буде меншою.

При моделюванні такої відмови як коротке замикання в колі колектора стрілочного двигуна, було зафіксовано наступний сигнал (рис. 2.23).

Одержавши при вимірах часову залежність струму такої форми можна зробити припущення що виникла відмова типу короткого замикання в якорі [60]. Таке припущення базується на тому, що при короткому замиканні в колі колектора, опір якоря на відміну від несправності “обрив секцій” зменшується, а амплітуда струму також періодично буде змінюватись і форма часової залежності струму на ділянці 1-2 буде схожа з несправністю “обрив секцій” але більша по амплітудному значенню струму (рис. 2.23).

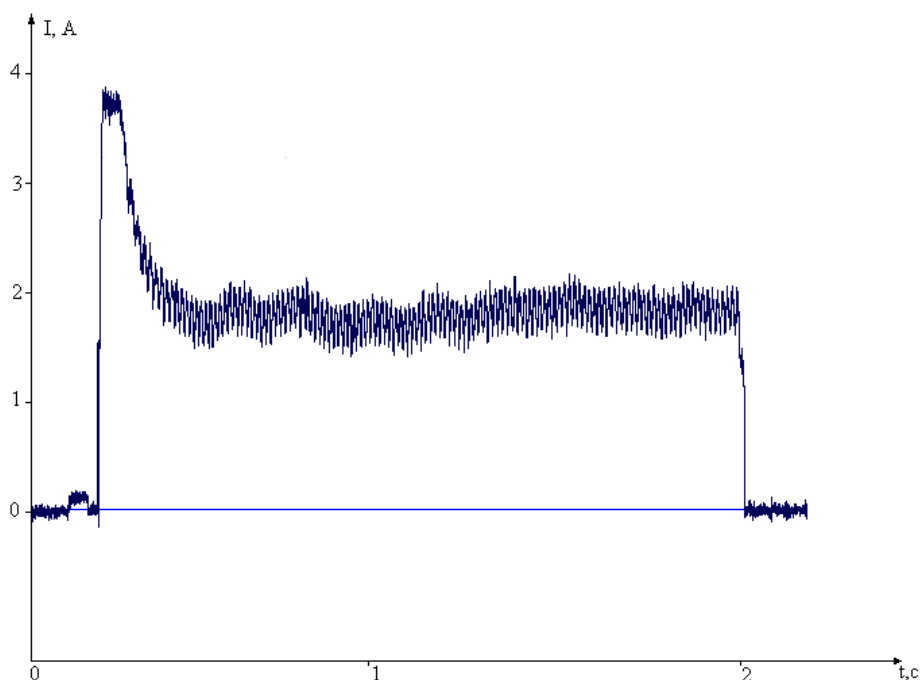


Рис. 2. 23. Часова залежність струму при короткому замиканні в якорі.

Дана часова залежність струму знята з стрілочного переводу на якому вимірювались криві при нормальному переводі та при обриві в якорі. Двигун використовувався той самий, але з заміненим якорем. В якорі штучно було закорочено між собою декілька витків. І в випадку короткого замикання, і в випадку обриву в якорі, штучно були створені незначні несправності, при яких двигун продовжує виконувати свої функції по переводу стрілки. Якщо відмови будуть більш значні, коротке замикання між багатьма витками, або обрив багатьох витків, коротке замикання між ламелями або обрив ламелі, то зміни опору якоря будуть набагато більш значні, і відповідно, піки на кривих будуть набагато вищими. Такі дії були проведені навмисне, щоб переконатися що при наявності навіть мінімальних відмов є можливість їх зафіксувати.

Якщо поглянути на рис. 2.23 то візуально видно виникнення пульсацій на другій ділянці в порівнянні з рис. 2.15. При проведенні спектрального аналізу на діапазоні від 200 до 1000 Гц (рис. 2.24) спектр сигналу має наступний вигляд.

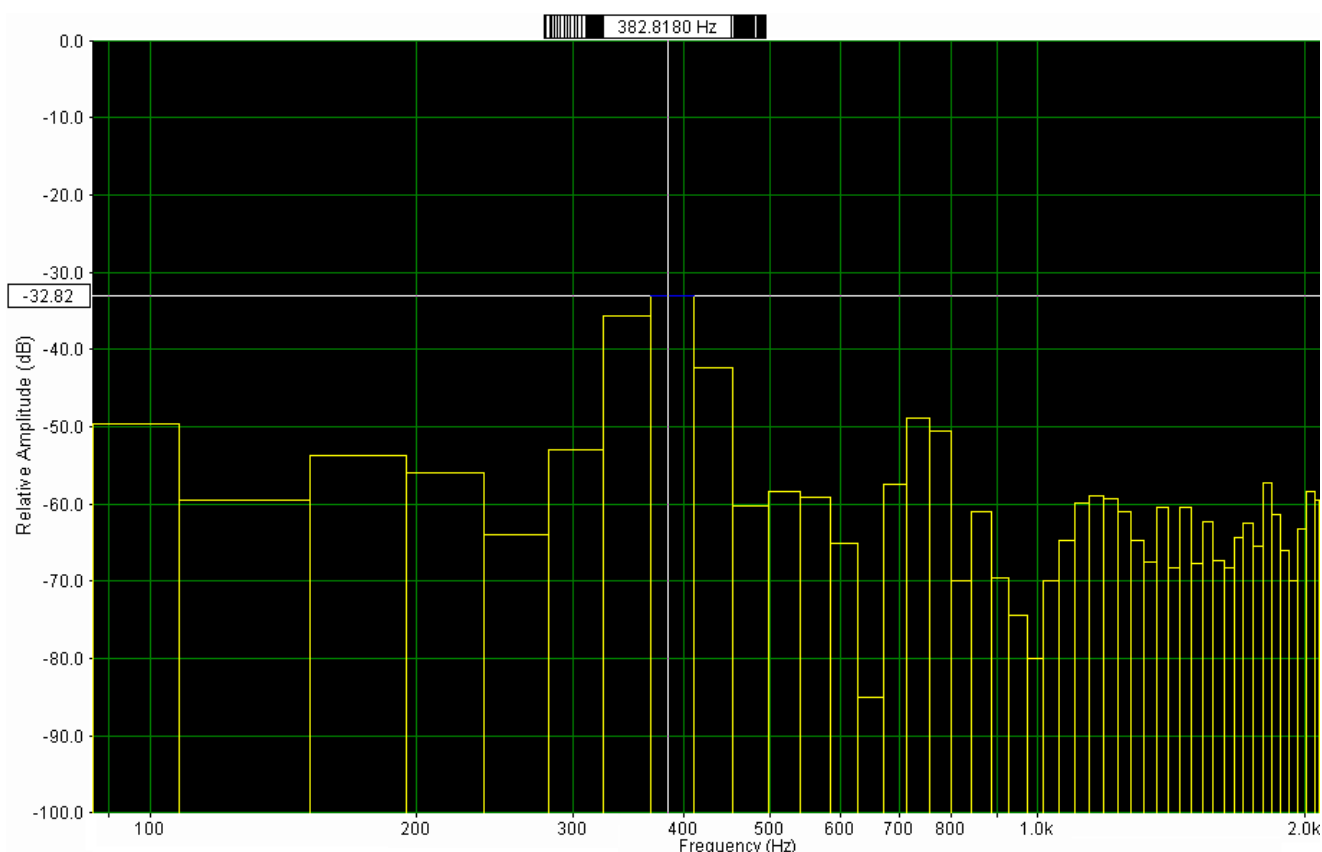


Рис. 2. 24. Спектр сигналу при короткому замиканні в якорі на діапазоні до 2 кГц.

З даного спектру чітко видно що в електродвигуні є наявності якась несправність. Це видно з того, що починаючи з частоти 300-350 Гц в спектрі двигунів без несправностей на всіх частотах до 2000 Гц включно амплітуда сигналу не піднімається вище -60...-65 Дб (рис 2.21), а на рис 2.24. видно, що при наявності відмови на частотах від 700 до 800 Гц амплітуда гармонік сягає -50 Дб. А на частотах 320 – 410 сягає -35 Дб – -32Дб. Частоту максимальної спектральної складової також можна визначити по швидкісній характеристиці так само як і при обриві в якорі. Частота при обриві в якорі та при короткому замиканні в колі якоря буде одна й та сама. Але в даному випадку можна зробити висновок що в двигуні виникло саме коротке замикання а не обрив в якорі, так як при обриві максимальна амплітуда змінної складової на другій ділянці буде значно меншою ніж при короткому замиканні в якорі.

При моделюванні несправності типу “Биття підшипника” часова залежність струму мала форму періодичних “спадів” і “підйомів” і на ділянці 1-2 крива наближалась формою до синусоїди (рис.2.25).

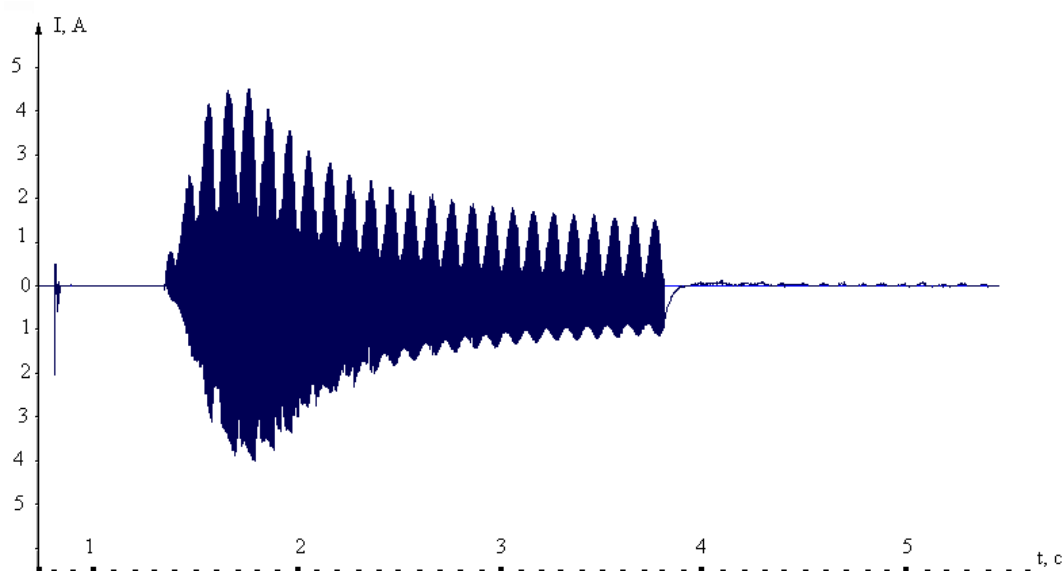


Рис. 2.25. Часова залежність струму при несправному підшипнику в електродвигуні.

Можна припустити, що дана крива являється ознакою несправного підшипника в двигуні, так як при несправному підшипнику якір електродвигуна буде при обертанні періодично зміщуватись відносно осі обертання, і відповідно, буде підскакувати щітка на колекторі. Це і викликає періодичну зміну величини амплітуди струму [61].

Так як форма кривої струму при цій несправності дуже відрізняється від всіх інших кривих часової залежності струму, то проводити спектральний аналіз немає сенсу, тому що ця несправність легко виявляється по часовій залежності струму.

2.9. Визначення діагностичних ознак для стрілочних переводів за допомогою експериментальних даних

При аналізі відмов стрілочного переводу по часовій залежності струму при переводі стрілки, з'являється можливість контролювати та діагностувати всі вище перелічені несправності стрілочного двигуна постійного струму без зняття його з стрілочного переводу. Крім цього, з'являється можливість часткової діагностики стрілочного переводу. Найбільша перевага такого методу заключається в тому, що практично без зміни схеми керування стрілки та використання додаткової апаратури на коліях є змога контролювати та діагностувати основні елементи стрілочного переводу, контроль яких дозволяє попереджувати більшість відмов. Так як часову залежність струму переведення стрілки можна фіксувати в самій будівлі поста елект-

ричної централізації, це дає змогу не використовувати колійні датчики, і не потребує використання додаткових лінійних проводів.

Для діагностування стану стрілочного переводу користуємося тією самою методикою, що і при діагностуванні стрілочних двигунів. Єдиною відмінністю при діагностуванні є те, що в випадку діагностування всього переводу представляє інтерес не лише друга ділянка (рис.2.15.), а весь процес переводу стрілки, починаючи від моменту спрацювання реле ППР (окремий сплеск рівня сигналу до початку переведення стрілки). При визначенні відмов стрілочного переводу немає необхідності використовувати частотний аналіз, а досить користуватися часовим аналізом. Також треба взяти до уваги, що при обриві одного або декількох провідників в якорі, і при виникненні іскріння на колекторі двигуна внаслідок його забруднення вугільним пилом, на часовій залежності струму буде спостерігатись практично однакова картина (виникнення пульсацій з не значною амплітудою на другій ділянці кривої). Тому в випадку появи під час вимірів такої кривої, досить дати команду електромеханіку почистити колектор [62], і якщо пульсації зникнуть, тоді причина була в забрудненні стрілки, а якщо ні – то необхідно буде замінити двигун даної стрілки, при досягненні цими пульсаціями відповідного рівня [63].

Для проведення аналізу впливу зміни опору лінійних провідників Л1 та Л2 на часову залежність струму, на станції Нижнєдніпровськ–Вузол проводився наступний експеримент. На стрілці проводились три групи вимірювань. При першій групі вимірювань опір ізоляції провідників Л1 та Л2 штучно не змінювався і при вимірюванні за допомогою мегомметра складав 7 МОм (додаток Д).

При проведенні другої групи контрольних вимірювань, на виводах дужок на кросовій поста електричної централізації було встановлено за допомогою резисторів опір, паралельно двигуну. Цей опір був відрегульований таким чином, щоб загальний опір провідників Л1 та Л2 при вимірюванні за допомогою мегомметра дорівнював 1 МОм. При проведенні третьої групи контрольних вимірювань умови залишились тими самими, але за допомогою резисторів був виставлений опір ізоляції провідників рівний 18 кОм. Це було зафіксовано за допомогою мегомметра, а також за допомогою сигналізатора заземлення (СЗІ), котрий спрацював і ввімкнув дзвінок,

так як опір одного із лінійних ланцюгів стрілок став меншим 220 кОм. Приклади часових залежностей для кожної групи вимірювань приведені в додатку Г.

Якщо проводити аналіз цих трьох кривих, то можна знайти діагностичні ознаки, при виявленні котрих в часовій залежності струму можна зробити припущення про виникнення такої відмови як зменшення опору лінійних провідників. З часових залежностей видно, що на другій ділянці кривої є “піки”, характерні для обриву, або короткого замикання в якорі. Якщо провести спектральний аналіз другої ділянки будь якої з цих кривих, то можна визначити більш точно, яка саме відмова є в двигуні даної стрілки. Але для визначення ознак зменшення лінійного опору провідників Л1 та Л2 це не потрібно [64].

Спочатку проведений аналіз часу переводу стрілки. При опорі лінійних провідників Л1 та Л2 7 МОм, час переводу стрілки дорівнює близько 1500 мс. При опорі стрілочного кабелю 1 МОм, час переводу стрілки також складає близько 1500 мс. При опорі лінійних провідників 18кОм, час переводу тієї самої стрілки складає також близько 1500 мс. При вимірах на інших стрілочних переводах, час переводу змінюється відповідно до стану та типу стрілочного переводу. Тому зроблено висновки, що по часу переводу стрілки контролювати зменшення опору лінійних провідників проблематично. Але якщо подивитися на амплітуду сигналу, то видно певну закономірність. При переводі стрілки з лінійним опором 7 МОм амплітуда сигналу на першій (ненавантаженої) ділянці кривої величина струму досягає – 5 - 5,5 А. При лінійному опорі 1 МОм, на першій ділянці амплітуда досягає – 6 -6,5А. При лінійному опорі низького рівня (18кОм), амплітуда сигналу на першій ділянці вище – 9А. З вище сказаного можна зробити припущення, що є зворотно пропорційна залежність між опором лінійних провідників та амплітудою сигналу. При цьому, якщо величина рівня струму на другій ділянці кривої може збільшуватись і через інші причини (наприклад забруднення подушок стрілки, провисання гостряків, засипання стрілочного переводу), то збільшення амплітуди на першій ділянці, де двигун працює без навантаження з боку гостряків стрілки, може бути зумовлене тільки зменшенням опору лінійних провідників. Це пояснюється тим, що на першій ділянці кривої, величина струму залежить лише від опору лінійних провідників, та активного опору обмотки

збудження двигуна і якоря. З цих даних можна висунути припущення, що по величині струму на першій ділянці кривої часової залежності струму є можливість контролювати величину опору стрілочного кабелю.

Запропоновано знайти наступний параметр діагностування та контролю, за допомогою якого є можливість виявляти таку відмову як відсутність зазору в корені гостряків стрілки (рис 2.26). На даний час ця несправність стрілочного переводу контролюється електромеханіками при виконанні перевірки стану стрілочного переводу. При перевірці, зазор між коренем гостряка та рамною рейкою повинен складати 4 – 8 мм. При відсутності такого зазору, виникає явище яке називають “пружинність” гостряка.

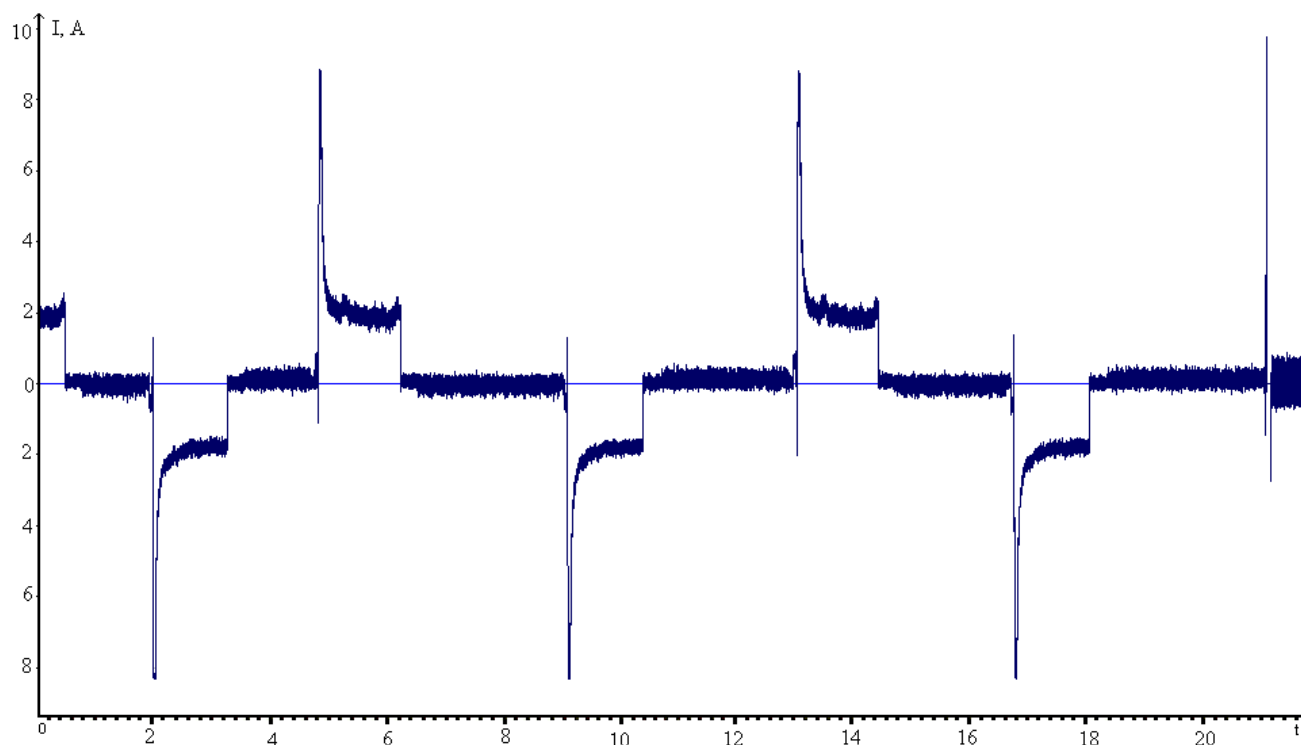


Рис. 2. 26. Група кривих часової залежності струму з пружинністю гостряка при переводі стрілки в плюсове положення.

Суть цього явища заключається в тому [64], що при відсутності зазору в корені гостряка при переводі стрілки з одного положення в інше, корінь гостряка в кінці переводу своїм кутом впирається в рамну рейку, і для того щоб стрілка довелася до кінця потрібно прикласти більше зусиль з боку стрілочного двигуна. Ці зусилля йдуть на те, щоб зігнути гостряк, так як відсутність зазору в його корені не дає змоги його переміщати. Зігнутий гостряк при закінченні переводу пружинить, даючи додаткове на-

вантаження на робочу тягу, шибер та автоперемикач. На рис.2.26. приведений випадок коли в корені лівого гостряка зазор менше норми, а в корені правого в межах норми. Відповідно до цього при переводі стрілки в плюсове положення спостерігається невелика пружинність гостряка, а при переводі в мінусове положення пружинність відсутня. Як видно з даного рисунка, при переводі стрілки в мінусове положення (крива №1, №3, №5), в кінці другої ділянки часової залежності струму відбувається плавний перехід в третю ділянку, а при переводі стрілки в мінусове положення (крива №2, №4) на кінці другої ділянки кривих спостерігається зростання амплітуди сигналу.

Збільшення амплітуди струму наприкінці другої ділянки кривої викликано тим, що за рахунок пружинності гостряка збільшується навантаження на стрілочний двигун. Зміну струму відповідно до зміни моменту на валу двигуна можна розглянути по механічній характеристиці двигуна [13]. При побудові цієї характеристики також слід взяти до уваги ділення кривої намагнічення на три ділянки.

Для першої “ненасиченої” ділянки

$$I_a = \sqrt{M / (C_m \times C_\phi)} \quad (2.66)$$

підставивши цей вираз у формулу (2.64.) і отримано рівняння природної механічної характеристики

$$n = [C_1 \times U \times \sqrt{(C_m \times C_\phi)} / \sqrt{M}] - C_2 = C_1' \times U / \sqrt{M} - C_2, \quad (2.67)$$

де $C_1' = C_1 \times \sqrt{(C_m \times C_\phi)}$.

Як видно з рівняння, механічна характеристика має гіперболічний вигляд. При струмах $I_a > I_{a.ном}$ залежність $n = f(M)$ наближається до лінійної. Як і в рівнянні (2.64), значення постійної C_2 в (2.67) залежить від повного опору якірного кола: включений чи ні резистор, і який його опір, а відповідно і струм часової залежності прямо пропорційний моменту на валу двигуна. Так як момент збільшується, то відповідно і збільшується струм. Амплітуда часової залежності струму збільшується на невелику величину (рис. 2.26), так як на стрілочному переводі в корені лівого гостряка зазор є, але він нижче норми. При повній від-

сутності зазору, величина зростання струму на цьому відрізку кривої часової залежності струму може досягати $2/3$ величини струму на першій ділянці кривої.

Можна зробити припущення, що при збільшенні величини струму наприкінці другої ділянки кривої на якусь фіксовану величину (величина повинна вимірюватися в процентах відносно величини струму на другій ділянці) на стрілочному переводі відсутній зазор в корні гостряка, або величина зазору менше норми. При цьому, потрібно брати до уваги, що при відтисканні рамної рейки гостряком стрілки на кривій часової залежності струму буде спостерігатися аналогічна картина [65-67]. Така ситуація можлива в тому випадку, якщо зазор між гостряком і рамною рейкою менший ніж два міліметра, але стрілка закривається в крайньому положенні та дає контроль за рахунок того, що рамна рейка погано закріплена, і зміщується зі свого місця під натиском гостряка стрілки. В цьому випадку навантаження на вал стрілочного двигуна наприкінці другої ділянки часової залежності струму також зростає через додаткове навантаження від опору рамної рейки. Але така несправність легко виявляється візуально електромеханіком при перевірці зазору між гостряком та рамною рейкою.

По кривій часової залежності струму маємо змогу також контролювати стан стрілочного переводу у випадку його роботи на фрикцію. По нормам, які закладені в технологічних картах, збільшення величини струму на стрілочному двигуні постійного струму не повинно перевищувати 25 – 30 % від струму нормального переводу. Ці норми надають змогу контролювати максимально допустимий рівень струму при роботі на фрикцію навіть без вимірювання в абсолютних одиницях, а шляхом порівняння величини струму при нормальному переводі, та при роботі на фрикцію (рис.2.27).

При переводі стрілки (рис. 2.27) в плюсове положення рівень амплітуди струму на другій ділянці кривої значно вищий, ніж рівень амплітуди при переводі в мінусове положення.

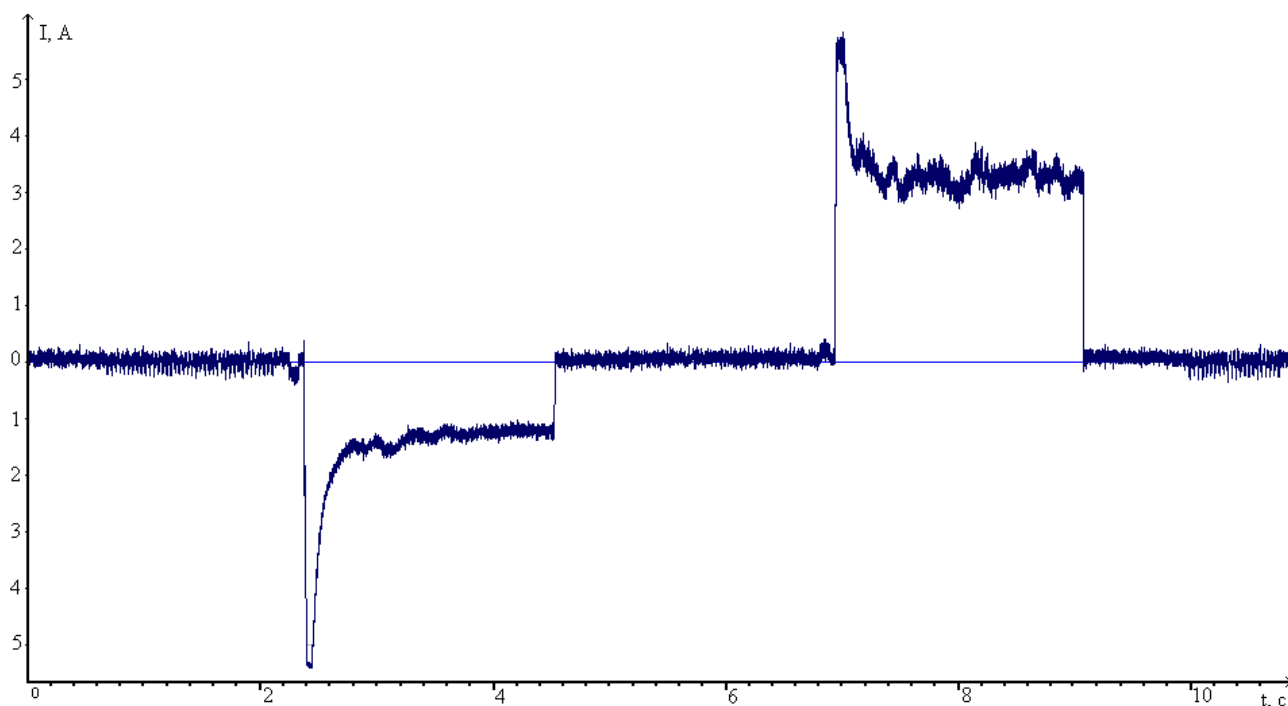


Рис. 2. 27. Криві часової залежності струму при роботі стрілки на фрикцію та при нормальному переводі.

Якщо розглянути більш детально криву переводу без роботи на фрикцію, то при звичайному робочому переводі стрілки рівень струму на другій ділянці складає близько 1,5 – 1,8А по осі ординат, а при роботі стрілки на фрикцію (перевід в плюсове положення) складає більш ніж 3А. Можна зробити висновок, що при роботі стрілки на фрикцію, рівень струму збільшується більше ніж в два рази. При вимірах, для створення режиму роботи двигуна на фрикцію на стрілочному переводі була встановлена колійна закладка, тому стрілка починала працювати на фрикцію практично з самого початку. Але частіше за все стрілка починає працювати на фрикцію не на початку переводу, а наприкінці. Це пов'язано з тим що за звичай робота стрілки на фрикцію зумовлена або попаданням між гостряком і рамною рейкою сторонніх предметів, або закладенням між гостряком і рамною рейкою вимірювального щупа для визначення щільності прилягання, або поганим регулюванням роботи стрілочного переводу (рис. 2. 28.).

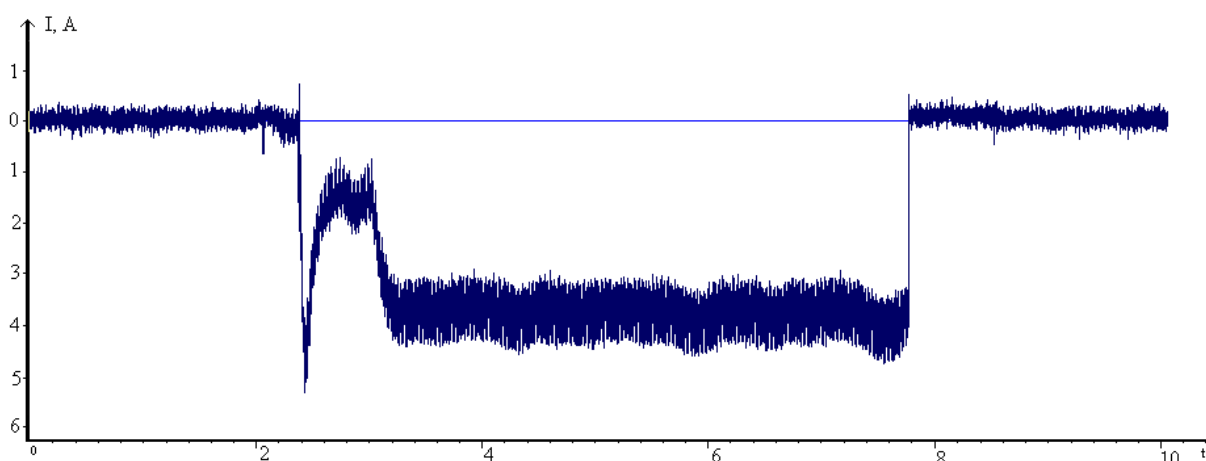


Рис. 2. 28. Криві часової залежності струму при роботі стрілки на фрикцію під час вимірювання щільності прилягання гостряка до рамної рейки.

Ця крива була записана на навчальному полігоні кафедри «Автоматики, телемеханіки та зв'язку» на стрілці з маркою хрестовини 1/11. Слід зауважити, що так як стрілка в цьому випадку живилася від звичайного випрямляча, а не від робочої батареї, то в її кривій часової залежності струму явно видно змінну складову, але для аналізу роботи стрілки на фрикцію вона не заважає, так як проводити спектральний аналіз у цьому випадку немає необхідності. Перед початком експерименту фрикцію даної стрілки було штучно завищено в два рази відносно нормального перевodu. При нормальному перевodі в плюсове положення стрілка споживала 1,8А, а при роботі на фрикцію була відрегульована на 4А. Як видно з рис 2.28. наприкінці другої ділянки кривої часової залежності струму, рівень амплітуди значно виріс, і час перевodu стрілки збільшився. Ці дані надають можливість висунути гіпотезу про можливість контролювання максимально допустимого рівня струму при роботі стрілочного двигуна на фрикцію за допомогою вимірювання кривої часової залежності струму. Норми робочого струму для кожного типу стрілок та двигунів відомі [9].

Слід також вказати на той факт, що при вимірюваннях щільності прилягання гостряків стрілки до рамної рейки, які проводиться щотижня по графіку технологічного процесу, кожна стрілка котру перевіряють буде працювати на фрикцію і при перевodі в плюсове положення, і при перевodі в мінусове положення. Це викликано специфікою даних вимірювань, а так як при створенні системи автоматичного конт-

ролю та діагностування стрілочних переводів є можливість записувати всі переводи стрілок, то з графіка технологічного процесу є змога виключити роботи по вимірюванню струму фрикції (по графіку технологічного процесу вони виконуються один раз на чотири тижні). Це надає можливість звільнити електромеханіка від даного типу робіт, які є досить тривалими. Крім того впровадження такої системи дасть змогу контролювати сумлінність виконання обслуговуючим персоналом графіку технологічного процесу, так як в тому випадку, якщо вимірювання щільності прилягання не буде виконуватись один раз на тиждень на всіх централізованих стрілках, це буде зафіксовано системою контролю та діагностування.

Виявлення діагностичної ознаки такої відмови як забруднення подушок стрілочного переводу можливе виходячи з припущення що при забрудненні подушок (погане обслуговування переводу) стрілка рухається рівномірно, але сильно зростає момент навантаження на валу двигуна (рис.2.29).

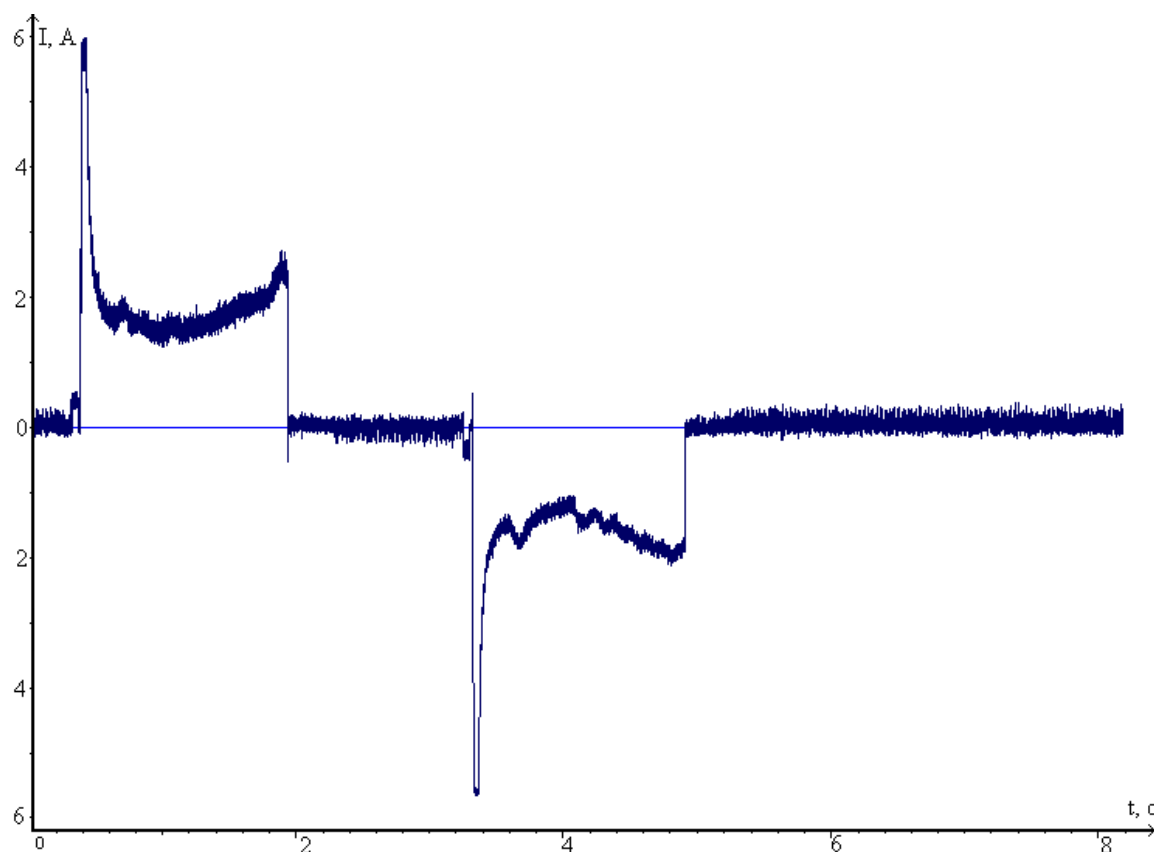


Рис. 2.29. Крива часової залежності струму при переводі стрілки в плюсове та мінусове положення при забрудненні гостряків.

В цьому випадку, з кривої часової залежності струму (рис. 2. 29) можна зробити висновок, що після рушення гостряків з місця, струм зростає а не залишається незмінним, як при переводі нормально функціонуючої стрілки.

При засипанні стрілочного переводу, аналізується форма кривої струму (рис. 2. 30) переведення в плюсове положення на ділянці 1-2. За припущенням амплітуда струму змінюватиметься, оскільки стрілочні гостряки рухаються ривками, що приводить до зміни навантаження на валу двигуна і відповідно змінюється струм.

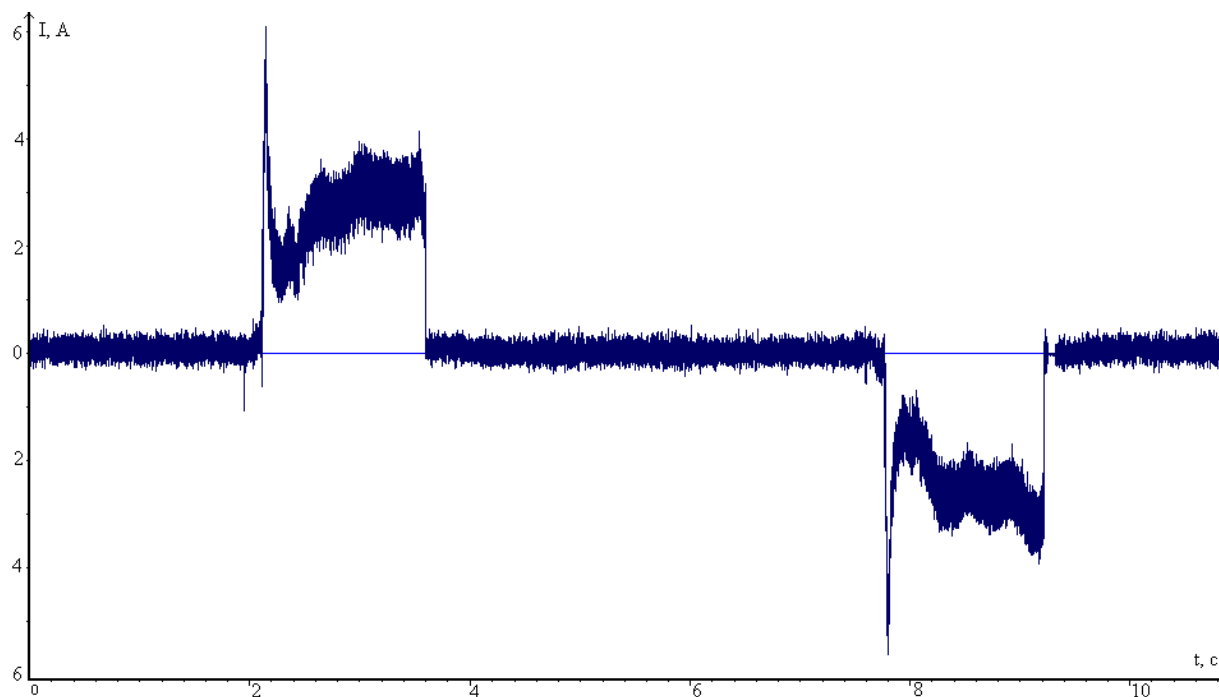


Рис. 2. 30. Криві часової залежності струму при переводі стрілки з сильно забрудненими подушками.

Дана крива часової залежності струму була виміряна на кафедральному стрілочному переводі ранньою весною, до початку експлуатації стрілки після зимової перерви. За час перерви в експлуатації цього діючого макету, подушки стрілочного переводу залишилися повністю без мастила та покрилися іржею.

З форми кривої часової залежності струму у цьому випадку видно, що на початку ділянки 1-2 переводу стрілки в плюсове положення (перша крива), величина струму складала близько 2 А, а наприкінці другої ділянки близько 3,5 А. При переводі стрілки в мінусове положення (друга крива) величина струму змінюється аналогічно. Як видно із форми кривих, в цьому випадку крім поступового збільшення величини струму на протязі переводу стрілки, видно також збільшення та зменшення струму

різкими стрибками в відповідності зі збільшенням та зменшенням навантаження на валу двигуна в залежності від плавності руху стрілочних гостряків по забрудненим подушкам. Після проведення ряду вимірювань, стрілочні подушки привели в відповідність з вимогами технологічних карт і заміряли криву струму (рис. 2.31).

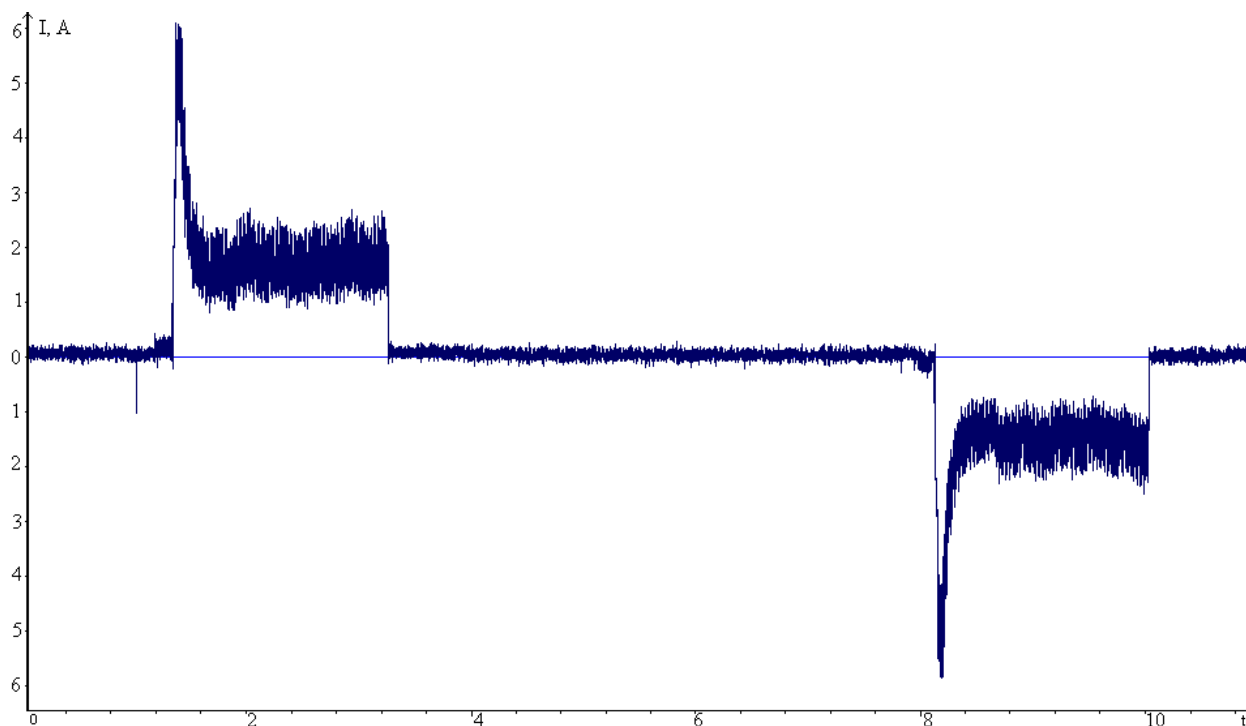


Рис. 2. 31. Криві часової залежності струму при переводі стрілки з змащеними подушками.

Як видно на кривих часової залежності струму не спостерігається зростання рівня струму на протязі другої ділянки кривої і рівень переводу стрілки складає близько 2 А.

З вище сказаного можна зробити припущення, що забруднення стрілочного переводу можна контролювати за допомогою вимірювання стрілочних кривих часової залежності струму, що дасть змогу попередити зупинки стрілочних переводів через забруднення.

При аналізі справності та працездатності стрілочного переводу треба брати до уваги що стрілки, які експлуатуються навіть на одній і тій же станції працюють в різних умовах. Одні стрілочні переводи працюють на дерев'яних шпалах, інші на залізобетонних, в одних стрілочних приводах встановлені стрілочні двигуни постійного струму з послідовним з'єднанням потужністю 100 Вт, в інших 150 Вт, 250 Вт, 180 Вт. Також різні криві часової залежності струму будуть при різній степені пологості стрілок, так як чим пологіша стрілка, тим важчі стрілочні гостряки, а відповідно і навантаження на двигун. Також збільшується навантаження на двигун при використанні перехресних стрілок з чо-

тирма гострыками. Але якщо при встановленні системи діагностування врахувати всі ці нюанси, і при замінах пристроїв вносити в систему відповідні корективи, то ніяких складностей для роботи системи діагностування та контролю це не складатиме.

Окремо треба відзначити аналіз кривих часової залежності струму для спарених стрілок (рис. 2. 32). При роботі спарених стрілок для переведення обох стрілок використовується два проводи Л1 та Л2. Тобто двигуни обох стрілочних переводів живляться від одного і того ж лінійного ланцюга.

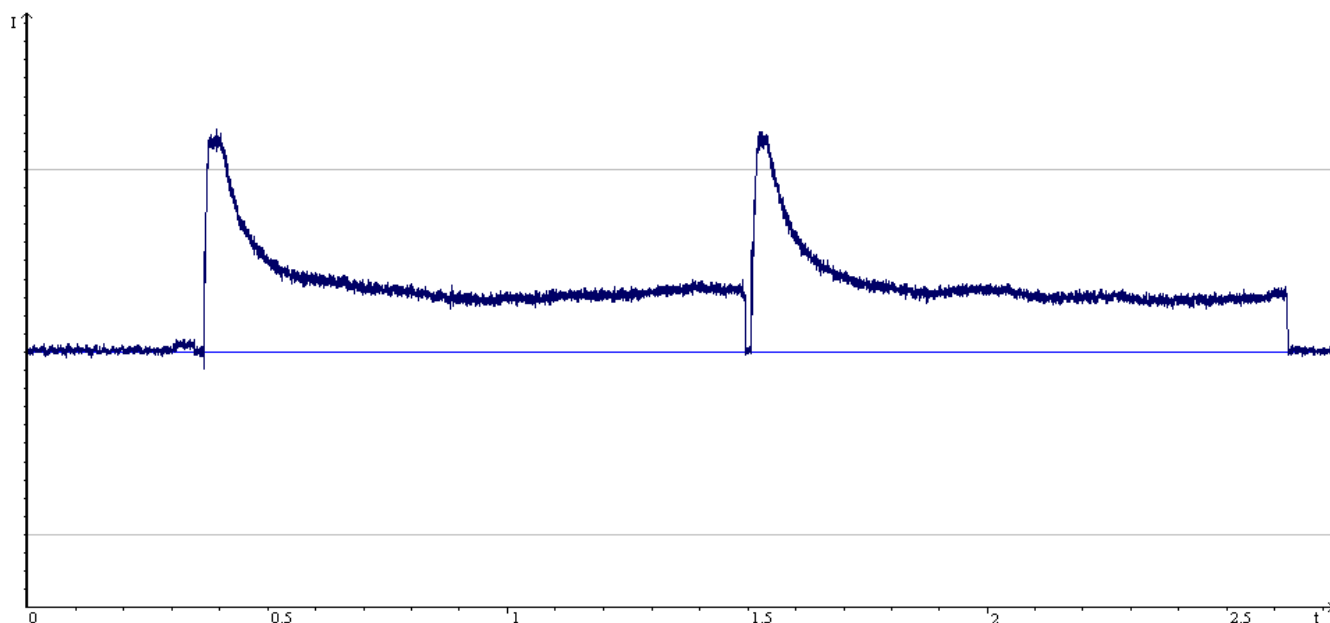


Рис. 2. 32. Криві часової залежності струму при переводі спарених стрілок № 154 та № 156.

Але це не створює перешкод для роботи системи діагностування та контролю, так як спарені стрілки переводяться по черзі.

Як видно з даних кривих, перевід стрілки № 156 починається після закінчення переводу стрілки № 154, з чого випливає що для системи контролю та діагностування, робота з спареними стрілками ніякої складності не складає, так як кожну стрілку можна контролювати окремо.

Можна зробити припущення, що при використанні такої системи також є змога визначати розвиток такої несправності як люфт в робочій тязі. Люфти в шарнірних з'єднаннях шибера з робочою тягою повинні бути не більше ніж 0,5 мм, а люфти в шарнірах робочої тяги із зв'язною і зв'язної із сержками повинні бути не більші ніж 1 мм. Перевірка люфтів проводиться при зовнішній перевірці стану електроприводів і стрілоч-

них гарнітур [10]. При включенні стрілки в централізацію, або при підключенні переводу до централізації після заміни та ремонту, всі люфти перевіряються на відповідність нормам. Крива часової залежності струму при переведенні стрілочного переводу в плюсове та мінусове положення з люфтами котрі знаходяться в межах норми, записується в базу даних комп'ютера. При подальшій експлуатації стрілки нові криві часової залежності струму стрілочним двигуном також записуються в базу даних і порівнюються з попередніми даними. При збільшенні люфтів робочої тяги час між початком роботи двигуна і початком руху гостряків стрілки збільшується, (збільшується ділянка 1 кривої часової залежності струму), і по величині цього приросту часу можна визначати збільшення величини люфтів робочої тяги. Недоліком такого методу є те, що не можна визначити в якому саме кріпленні збільшився люфт, але при визначенні того що сумарний люфт став більшим норми, необхідно його усунути, та відповідно виходити на колію, де і визначається який саме люфт потрібно усувати.

Можна також зробити припущення, що за допомогою системи контролю стану стрілочного переводу по кривій часової залежності струму, є змога контролювати і таку відмову схеми керування стрілки як вихід з ладу блока випрямляча. При втраті контролю стрілкою, за допомогою системи діагностики та контролю підключаємось до цієї стрілки і знімаємо форму струму який зараз є в наявності в лінійних провідниках Л1 та Л2. При втраті контролю стрілки через не замикання стрілочних гостряків в крайньому положенні в лінійних провідниках Л1 та Л2 буде присутня змінна складова струму контрольного ланцюга низького рівня (частина яка замикається через обмотку реле РР), так як контакти автоперемикача через які проходить контрольний ланцюг розімкнуті. У разі коли вийде з ладу випрямляч в стрілочній коробці, діод пробивається, і при наявності в лінійних провідниках Л1 та Л2 буде присутня змінна складова контрольного струму високого рівня, а постійна складова буде відсутня. Змінний струм в ланцюзі буде високого рівня, так як буде замикатись через замкнуті контакти автоперемикача. В цьому випадку система зафіксує таку відмову ланцюга керування стрілкою, як вихід з ладу випрямляча.

Також можна висунути гіпотезу, що за допомогою системи діагностування та контролю є можливість визначати таку відмову як обмерзання або забруднення контактів автоперемикача. При експлуатації стрілки в зимовий період робочі контакти автоперемикача.

кача за звичай не обмерзають, так як контакти робочої групи товщі за контрольні контакти, на них є засічки для позбавлення від льоду і струм який через них протікає набагато вищий за контрольний струм. При обмерзанні контрольних контактів стрілка не фіксує контроль крайнього положення. В цьому випадку черговий по станції переводить стрілку в обидва боки декілька разів, поки льодяна кірка не зніметься ножами автоперемикача і стрілка не дасть контролю. Система контролю та діагностування зафіксує переведення стрілки в крайнє положення без якихось відхилень в кривій робочого струму і після декількох переводів виявить зупинку стрілки з контролем крайнього положення. В цьому випадку система зробить висновок про забруднення або обledenіння контактів і видасть відповідну інформацію електромеханіку.

Крім перелічених відмов стрілочних переводів використання запропонованої системи діагностування стрілки по часовій залежності струму дозволяє контролювати появу двох основних недоліків двопровідної схеми керування стрілкою [8]. При переведенні стрілки черговим по станції в плюсове положення, і переплутуванні лінійних провідників стрілка переведеться в мінусове положення. Система діагностування буде порівнювати часову залежність струму переводу стрілки, зі зразковим переводом стрілки в плюсове положення. А так як стрілка реально переведеться в мінус, система діагностування виявить відсутність кривої в додатній площині, і проведе перевірку на наявність кривої в від'ємній площині. Якщо часова залежність буде присутня в від'ємній площині, то система зафіксує переплутування лінійних провідників Л1 та Л2. таким чином буде усунено перший недолік двопровідної схеми керування стрілкою.

Другим недоліком двопровідної схеми є можливість виникнення явища помилкового контролю через велику напругу в контрольному ланцюзі та недостатній захист від помилкового спрацьовування реле ОК при випрямному процесі на колекторі двигуна. Система діагностування та контролю виявить таку відмову ще на стадії її розвитку, так як за допомогою спектрального аналізу система виявляє таку відмову як виникнення іскріння на колекторі.

Відмови які можна з досить великою точністю діагностувати по частотним та часовим характеристикам струму який протікає через стрілку в різних режимах роботи приведено в таблиці 2.2.

Діагностичні ознаки відмов стрілочних переводів

Типи відмов	Можливі ознаки відмов	Обґрунтування використання саме цієї ознаки
Зменшення опору лінійних провідників Л1 та Л2	Зростання амплітуди сигналу на початку переводу стрілки (перша ділянка часової залежності струму переведення стрілки).	При переведенні стрілки на першій ділянці, на величину сигналу впливає лише активний опір якоря, статора та лінійних провідників [18]. Так як активний опір якоря та статора дуже малий, амплітуда сигналу буде зростати при зменшенні ізоляції лінійних провідників.
Відсутність зазору в корені гостряка стрілки, або віджим рамної рейки.	Короткочасне збільшення амплітуди сигналу наприкінці переводу стрілки (кінець другої, початок третьої ділянки часової залежності струму переводу).	При відсутності зазору під час переводу стрілки, корінь гостряка в кінці переводу своїм кутом впирається в рамну рейку, і момент з боку стрілочного двигуна зростає. Так як з зростанням моменту, зростає ступінь сигналу, то на границі 2 і 3 ділянки амплітуда при виникненні відмови збільшиться
Забруднення подушок стрілки (не якісне обслуговування працівниками служби колії)	Поступове зростання амплітуди сигналу під час переводу стрілки. (на другій ділянці часової залежності струму переведення стрілки)	При забрудненні стрілочних подушок (погане обслуговування переводу) стрілка рухається рівномірно, але сильно зростає момент навантаження на валу двигуна, тому що стрілка не рухається за інерцією по змащеним подушкам.
Засипання стрілочного переводу сипучими матеріалами	Різкі зміни амплітуди сигналу під час переводу стрілки (на другій ділянці кривої струму переведення стрілки).	При засипанні стрілки сипучими матеріалами, стрілка рухається без постійного зростання навантаження на валу, а зміна навантаження відбувається ривками і відповідно амплітуда сигналу також змінюється ривками.
Люфти в з'єднаннях робочої тяги стрілки	Збільшення часу роботи стрілки в не навантаженому режимі (перша ділянка часової залежності струму переводу стрілки).	При збільшенні люфтів робочої тяги, час між початком роботи двигуна і початком руху гостряків стрілки збільшується, і по величині цього приросту часу можна визначати збільшення величини люфту робочої тяги.

Перевищення максимально допустимої величини струму при переводі стрілки	Перевищення рівня струму, максимально допустимого для даного типу стрілки (визначається на другій ділянці кривої струму переведення стрілки)	Для кожного типу стрілочного переводу у відповідності з нормами для двигунів постійного струму, є максимально допустимий рівень струму, який може протікати через стрілку при переводі. Порівняння необхідно проводити для кожного випадку, коли стрілка переводиться і замикається в крайньому положенні.
Перевищення максимально допустимої величини струму при роботі стрілки на фрикцію	Порівняння струму при роботі на фрикцію та струму нормального переводу (на другій ділянці часової залежності струму переведення стрілки).	Струм при роботі стрілки на фрикцію не повинен перевищувати 30% від струму при нормальному переводі. Це необхідно контролювати при кожному переводі стрілки та відсутності її контролю в крайньому положенні.
Вихід з ладу блока випрямляча	Відсутність постійної складової струму в контрольному ланцюзі стрілочного переводу	При пробі діода в блоці випрямляча, зникає постійна складова струму в контрольному ланцюзі стрілки в зв'язку з тим, що перестає функціонувати схема випрямлення.
Обмерзання або забруднення контактів автоперемикача	Переведення стрілки без відхилень в кривій струму, та з відсутністю контролю, а після декількох переводів фіксується контроль положення.	При обмерзанні контактів контрольного ланцюга автоперемикача, стрілка переводиться без відхилень від норми, але контрольний ланцюг не замикається, і відповідно стрілка не контролюється в крайньому положенні.
Обрив секцій обмоток якоря двигуна, або прогорання ламелей	Нормальний рівень амплітуді сигналу під час переводу стрілки та виникнення пульсацій в спектрі сигналу на діапазоні який залежить	Часова залежність струму переведення стрілки на другій ділянці матиме гострі "піки", що характеризують виникнення змінної складової струму. Причиною виникнення стрибків амплітуди струму є зміна активного опору ланцюга якоря, а частота змінної складової залежить

	від величини струму.	від швидкості обертання валу двигуна.
Продовження табл. 2.2.		
Коротке зами- кання в якорі двигуна	Різкі короточасні ска- чки амплітуди часової залежності струму пе- реведення стрілки та виникнення пульсацій в спектрі сигналу на діа- пазоні який залежить від величини струму.	В випадку короткого замикання часова зале- жність струму переведення стрілки на другій ділянці матиме гострі “піки”, що характери- зують виникнення змінної складової струму. Причиною виникнення стрибків амплітуди є зміна активного опору ланцюга якоря. Змінна складова буде вищою по амплітуді ніж в ви- падку обриву, так як опір якоря в цьому випа- дку змінюється в більш значній мірі.
Дефекти підши- пників двигуна	Синусоїдальна зміна амплітуди сигналу під час перевodu стрілки	Часова залежність струму переведення стрілки наблизатиметься формою до синусої- ди, так як при несправному підшипнику якір електродвигуна буде при обертанні пе- ріодично зміщуватись відносно осі обер- тання, і відповідно, буде втрачати контакт щітка на колекторі.
Забруднення ко- лектора двигуна та іскріння на щітках	Виникнення та посту- пове збільшення пуль- сацій в спектрі сигналу на діапазоні який зале- жить від величини струму.	В цьому випадку форма часової залежності струму переведення стрілки на другій ділянці буде аналогічна формі часової залежності при обриві секцій обмоток якоря, але оскільки опір якоря змінюватиметься у меншій мірі, відповідно і “піки” будуть меншої амплітуди.
Коротке зами- кання в статорі двигуна	Різке збільшення рівня амплітуди сигналу пе- реводу стрілки в одне з положень, при незмін- ному рівні струму пере- воду в інше положення.	Такі зміни викликані тим, що опір обмоток статора при переведенні стрілки в плюсове та мінусове положення буде різний, і амплітуда струму при переводі стрілки в один та інший бік також буде змінюватись зворотно пропо- рційно до опору.

Крім перелічених відмов, та діагностичних ознак, контроль стрілочного переводу по кривим часових залежностей струму дозволяє контролювати два основних недоліки двопровідної схеми стрілки.

2. 10. Висновки до другого розділу

1. Розроблено структурну та кінематичну схеми стрілочного електроприводу для стрілки з двигуном постійного струму послідовного збудження з аналізом процесів які відбуваються в стрілочному переводі та стрілочному двигуні.

2. Розроблена математична модель, яка враховує електромеханічні процеси в електроприводі та механічній частині стрілочного переводу, що дозволило уточнити діагностичні ознаки ряду відмов та виявити нові ознаки для дефектів, які складно промодельовувати на практиці. Також розроблена модель стрілочного двигуна в просторі станів, що є складовою моделі стрілочного приводу, приведені математичні моделі струму комутованої секції та модель комутаційної складової напруги на полюсній обмотці для уточнення діагностичних ознак по частотній характеристиці. Розроблена модель адекватна і при критерії значимості 5% результати моделювання співпадають з експериментальними дослідженнями.

3. Визначені необхідні діагностичні ознаки для аналізу стану стрілочних переводів з електричними двигунами послідовного збудження без виключення стрілок з поїзної і маневрової роботи по часовій та частотній залежності струму який протікає через стрілочний двигун під час переводу стрілки. По часовій залежності струму виявлені діагностичні ознаки для 10 різних відмов стрілочного переводу, а по частотній залежності струму визначається 4 відмови на діапазоні 300-600 Гц. Крім цього при аналізі струму є можливість виявляти дві небезпечні відмови двопровідної схеми керування стрілкою.

3. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС КРИВОЇ ЧАСОВОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ СТРУМУ СТРІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ

3.1. Вибір методу математичного опису кривої протікання струму через стрілочний двигун постійного струму з послідовним збудженням

При створенні систем контролю та діагностування стрілочних переводів першочерговою задачею є розробка систем, котрі будуть проводити аналіз працездатності стрілочних переводів в автоматичному режимі, без участі людини. Для побудови такої системи потрібно вирішити дві основні проблеми. Перша проблема полягає в визначенні діагностичних ознак, за допомогою яких можна буде визначати і класифікувати різні типи відмов стрілки на ранніх стадіях виникнення. Шляхи вирішення цієї проблеми та результати досліджень приведені в другому розділі даної роботи та в публікаціях [63-67], присвячених вирішенню цієї проблеми. Другою проблемою являється автоматичне визначення виникнення тієї чи іншої відмови по заданих діагностичних ознаках [68]. При вирішенні цієї задачі виникає ряд проблем, на які потрібно звернути особливу увагу. Однією з таких проблем являється вибір методу математичного опису часової залежності струму, який протікає через стрілочний двигун під час переводу стрілки.

Результати вимірювання кривої часової залежності струму при використанні автоматичної системи вимірювання передбачає використання аналогово-цифрового перетворювача, в якості елемента, який дозволяє аналоговий сигнал перетворювати в цифрову форму і зберігати результати в вигляді масиву даних. Далі для аналізу записаної кривої струму необхідно відновити форму кривої в комп'ютері, для аналізу стану даної стрілки. Для проведення порівняльного аналізу отриманих даних по кривій часової залежності струму даної стрілки та допустимих значень, відновлення форми не потрібно, так як при порівнянні даних простіше користуватися чисельними методами (метод прямокутників, трапецій, Сімпсона і т.д.). Але крім автоматичного визначення виникнення несправностей стрілочного переводу, необхідно використовувати також прогнозування роботи об'єкту, та оцінювання часу до виникнення несправності, а для цього необхідно одержувати форму кривої. Також необхідно

відтворювати форму кривої часової залежності струму для візуального перегляду виникнення відмов обслуговуючим персоналом.

Для відтворення форми з масиву даних можна користуватися різними методами побудови кривої часової залежності струму [69]. Найпростішим методом являється апроксимація даних, записаних в цифровому вигляді. При цьому якщо проводити апроксимацію всіх точок масиву в якому записані данні по переводу однієї стрілки, то операція займе кілька хвилин на комп'ютері з не досить високими характеристиками, а на сучасних потужних електронно обчислювальних машинах десятки секунд. Це надто значний час для побудови однієї кривої, тому взято точки з масиву вибірково, з заданим кроком [70]. В зв'язку з тим, що форма кривої часової залежності струму досить складна, раціонально буде розбити криву на ділянки, на яких форма кривої більш менш лінійна, або підпорядковується якомусь закону і взяти на кожній ділянці потрібну кількість точок з заданим кроком. Результат апроксимації – знаходження поліному з показником степені, який менше чи дорівнює числу, що на одиницю менше кількості даних (точок), що апроксимуються.

Для кращого і більш точного відображення кривої часової залежності струму для кожної ділянки побудовано свій поліном (на рис.3.1). В результаті отримано ряд функцій, які описують апроксимовану криву переводу стрілки при справному стані стрілочного переводу.

$$-34.42313689x^2 + 3.250169995x - .0191$$

$$.905801034810^8 x^5 - .527488459010^8 x^4 - 1814.810226 + .122031939910^8 x^3 + 80010.36216x - .140203308210^7 x^2$$

$$\begin{aligned} &-.705711769810^{15} x^{12} + .194958169010^{16} x^{11} - .108980944610^8 + .171358603810^{14} x^5 \\ &- .245592960410^{16} x^{10} + .604341211810^9 x + .186523999210^{16} x^9 \\ &- .152679796210^{11} x^2 - .951120882910^{15} x^8 + .232381340710^{12} x^3 \\ &+ .343007836210^{15} x^7 - .237330892510^{13} x^4 - .896979077510^{14} x^6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &.124285425710^9 x^{12} - .912398840910^9 x^{11} + 191381.7782 + .304469147510^{10} x^{10} \\ &- .414666074110^7 x - .610609606910^{10} x^9 + .407734901610^8 x^2 \\ &+ .819533918110^{10} x^8 - .240637268410^9 x^3 - .775391102010^{10} x^7 \\ &+ .949560473810^9 x^4 + .530211213810^{10} x^6 - .263976348010^{10} x^5 \end{aligned}$$

$$-0.205243190910^7 x^4 + .781581768010^7 x^3 - .168544658110^7 - .111606274610^8 x^2 + .708267977110^7 x$$

$$-5.007885734x^2 + 10.10992496x - 5.069374981$$

На рис 3.1. приведена крива побудована на 43 точках.

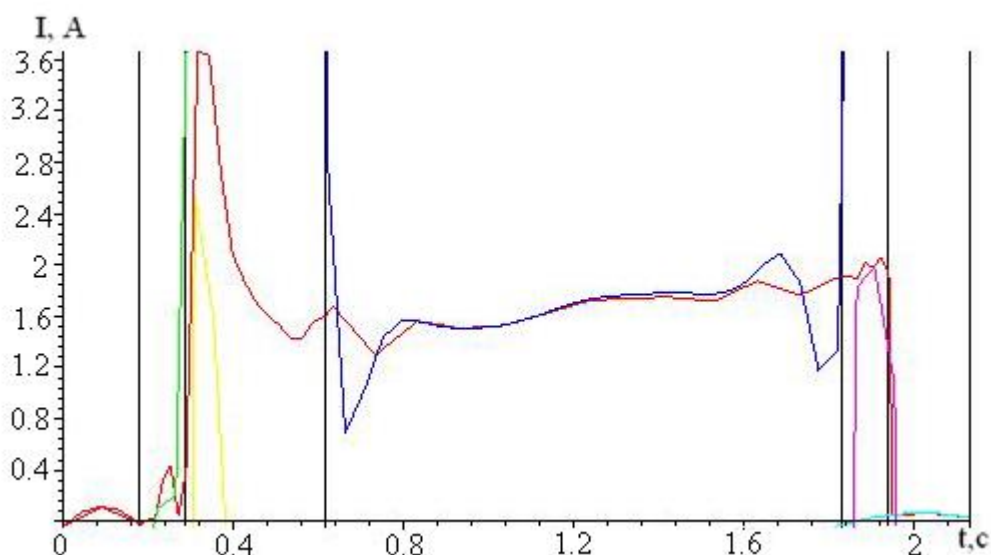


Рис. 3. 1. Крива часової залежності струму після апроксимації даних масиву.

По вісі X приведено час переводу стрілки в секундах, по вісі Y приведено рівень сигналу в амперах.

При використанні апроксимації отримано криву часової залежності струму досить подібну до форми аналогового сигналу який оцифровувався, але сам алгоритм апроксимації передбачає можливість проходження одержаної кривої між точками, тим самим згладжуючи відхилення та піки на кривій часової залежності струму. Такий метод при відтворенні сигналу дозволяє позбавлятися від імпульсних перешкод, але в нашому випадку цей метод не допустимий, так як при згладжуванні імпульсів втрачено значну частину інформації, за допомогою якої можна прогнозувати та діагностувати виникнення відмов. Крім цього для проведення аналізу стану стрілочного переводу необхідно корегувати початок переводу, а при використанні апроксимації та переносі кривої для корекції, форма кривої спотворюється, а для подальшого діагностування це неприпустимо.

Більш доцільно для нашої задачі використовувати такий метод відображення кривої часової залежності струму як інтерполяція [70]. Експериментально отримані дані піддаються процедурі інтерполяції, тобто знаходження функції,

що проходить через усі точки отриманих даних і має значення на усьому відрізку між початковою та кінцевою точками отриманих даних. З різних видів інтерполяції була вибрана інтерполяція за допомогою сплайнів.

Результат інтерполяції сплайнами – кускова поліноміальна апроксимація, причому ступінь полінома визначається суб'єктивно, доступні види інтерполяцій сплайнами: лінійна, квадратична, кубічна, кватична.

Також слід відзначити, що за суб'єктивною оцінкою було виявлено, що експериментальні криві з окремих сімейств несправностей мають характерні відмінності у своїй формі на окремих ділянках. Саме тому всі аналізовані криві були розбиті на суб'єктивно обрані ділянки з метою полегшення діагностування видів несправностей. При інтерполяції сплайнами до кожної з ділянок може бути застосована інтерполяція того виду, який найбільш адекватно відображає форму кривої на даній ділянці.

Крива часової залежності струму стрілочного двигуна постійного струму з послідовним збудженням при аналізі роботи двигуна розбивається на 3 ділянки. Але для більш точного відображення кривої за допомогою сплайнів, краще розбивати криву струму на шість ділянок. Границі ділянок приведені на рис. 3.2 вертикальними лініями.

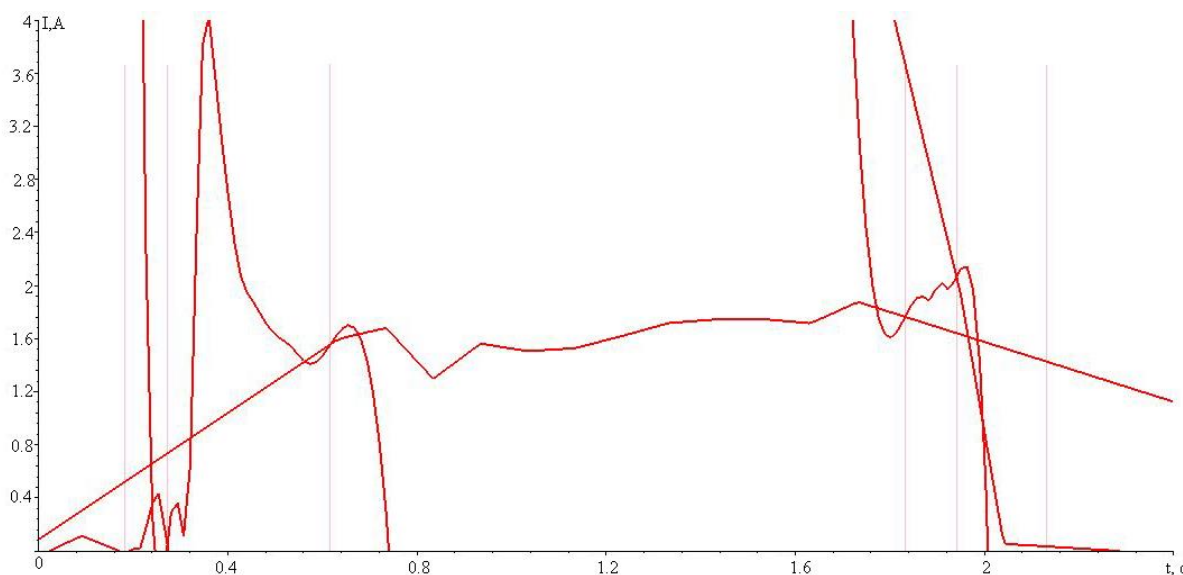


Рис. 3. 2. Крива часової залежності струму побудована за допомогою шести окремих сплайнів.

Розбивалась крива струму на ділянки суб'єктивно, з урахуванням того, що відбувається з стрілкою в даний момент часу, і яка форма кривої на даній ділянці. Для

кожної ділянки підібраний свій метод інтерполяції з заданою ступінню величини X . На першій, другій, четвертій, та шостих ділянках крива відображається за допомогою лінійних сплайнів, на третій та п'ятій ділянці, для побудови кривої використовується кубічний сплайн. Результируюча крива відображена на рис.3.3. і досить точно відображає криву струму яка записувалась в масив.

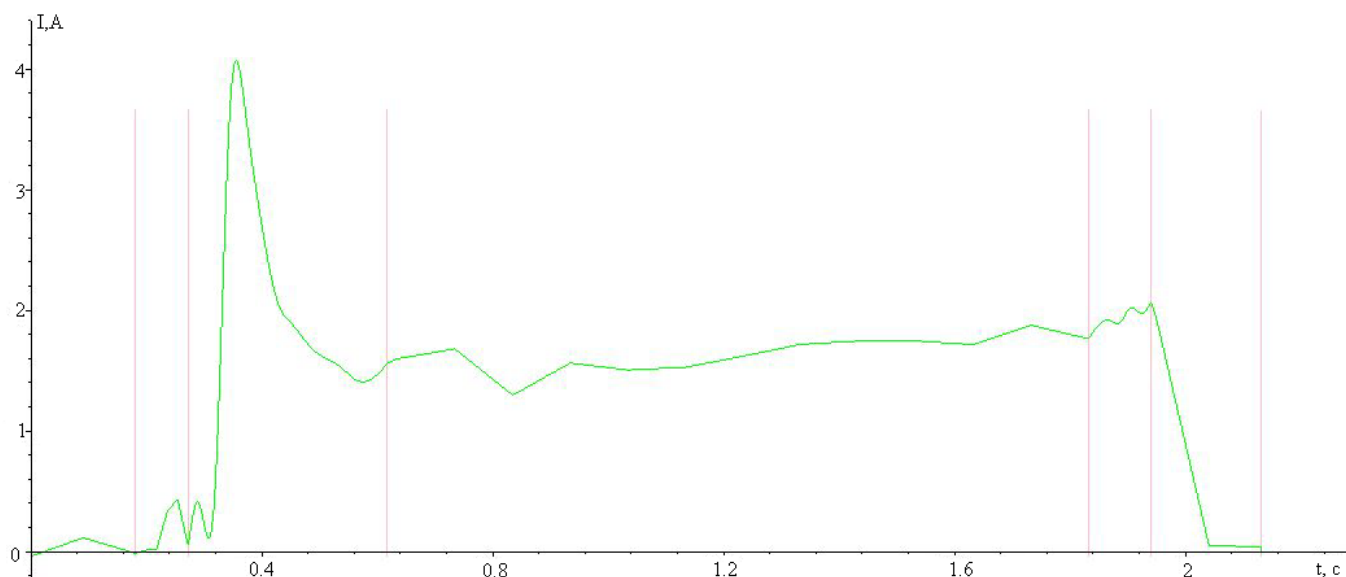


Рис. 3. 3. Крива часової залежності струму, побудована з масиву даних за допомогою сплайнів

Поліноми, за допомогою яких побудовано криву струму з масиву даних на рис.

3.3. мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} -0.0191 + 1.689029997x & x < .045351474 \\ .1225000000 - 1.433249997x & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1.)$$

$$\begin{cases} -0.1514999969 + 1.587599963x & x < .099773243 \\ -0.02390000277 + .3087000266x & x < .108843537 \\ -1.853899949 + 17.12182460x & x < .117913832 \\ -0.5343999823 + 5.931449860x & x < .126984127 \\ 2.954399936 - 21.54284949x & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.2.)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll}
395.7951665 - 8792.895225x + 64870.79938x^2 - 158933.4582x^3 & x < .145124717 \\
-1163.301487 + 23436.55580x - 157210.2610x^2 + 351158.9756x^3 & x < .158730159 \\
2134.153265 - 38885.33894x + 235417.6752x^2 - 473359.6889x^3 & x < .172335601 \\
-1523.854038 + 24792.86708x - 134083.4937x^2 + 241333.3611x^3 & x < .185941043 \\
86.13961638 - 1183.006155x + 5616.019749x^2 - 9103.571696x^3 & x < .199546485 \\
-126.6583799 + 2016.218256x - 10416.45707x^2 + 17677.95216x^3 & x < .213151927 \\
297.0226710 - 3946.867183x + 17559.29487x^2 - 26071.36214x^3 & x < .226757370 \\
-100.5593708 + 1313.143226x - 5637.350988x^2 + 8027.707219x^3 & x < .240362812 \\
41.29470921 - 457.3562686x + 1728.595003x^2 - 2187.331073x^3 & x < .253968254 \\
89.26072396 - 1023.954818x + 3959.576791x^2 - 5115.494670x^3 & x < .267573696 \\
-181.7267110 + 2014.319561x - 7395.330005x^2 + 9030.024821x^3 & x < .281179138 \\
35.65120333 - 304.9625460x + 853.0845959x^2 - 748.337660x^3 & x < .294784581 \\
136.5341667 - 1331.640702x + 4335.892795x^2 - 4686.590001x^3 & otherwise
\end{array} \right. \quad (3.3.)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll}
.0433999360 + 2.381400205x & x < .317460317 \\
.5410363675 + .8138454434x & x < .367346939 \\
2.250872737 - 3.840709115x & x < .417233560 \\
-.463127280 + 2.664040926x & x < .467120181 \\
1.050972723 - .5773090830x & x < .517006803 \\
.6353909083 + .2265136378x & x < .566893424 \\
.2422090877 + .9200863694x & x < .616780045 \\
.2026454632 + .9842318047x & x < .666666667 \\
.6757181806 + .2746227290x & x < .716553288 \\
.8638818181 + .01202727280x & x < .766439909 \\
1.108163633 - .3066954503x & x < .816326531 \\
-.456200009 + 1.609650010x & x < .866213152 \\
1.913936369 - 1.126554552x & otherwise
\end{array} \right. \quad (3.4.)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll}
6842.60368 - 22419.27490x + 24480.34629x^2 - 8907.452736x^3 & x < .934240363 \\
-48225.58098 + 154413.7550x - 164799.6687x^2 + 58626.92153x^3 & x < .943310658 \\
75072.42271 - 237709.4632x + 250888.6464x^2 - 88262.93975x^3 & x < .952380952 \\
-72117.35804 + 225938.3463x - 235941.5537x^2 + 82127.63035x^3 & x < .961451247 \\
31693.02984 - 97979.44415x + 100963.5067x^2 - 34676.71843x^3 & otherwise
\end{array} \right. \quad (3.5)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll}
15.34850124 - 14.75145128x & x < .975056689 \\
21.12769997 - 20.67848998x & x < 1.020408163 \\
.2521999993 - .2204999994x & otherwise
\end{array} \right. \quad (3.6)$$

В даному випадку при програмній обробці даних, ділянки на які розбивали криву часової залежності струму вибиралися суб'єктивно, виходячи тільки з міркувань простішої обробки результатів методом інтерполяції за допомогою сплайнів [71-73].

При автоматичній побудові кривої часової залежності струму за даною методикою, розбивання на ділянки може бути виконане в автоматичному режимі по принципу знаходження екстремумів на кривій струму, і в точках де функція міняє свій знак вибирається границя ділянки (рис. 3.4.) [74-75].

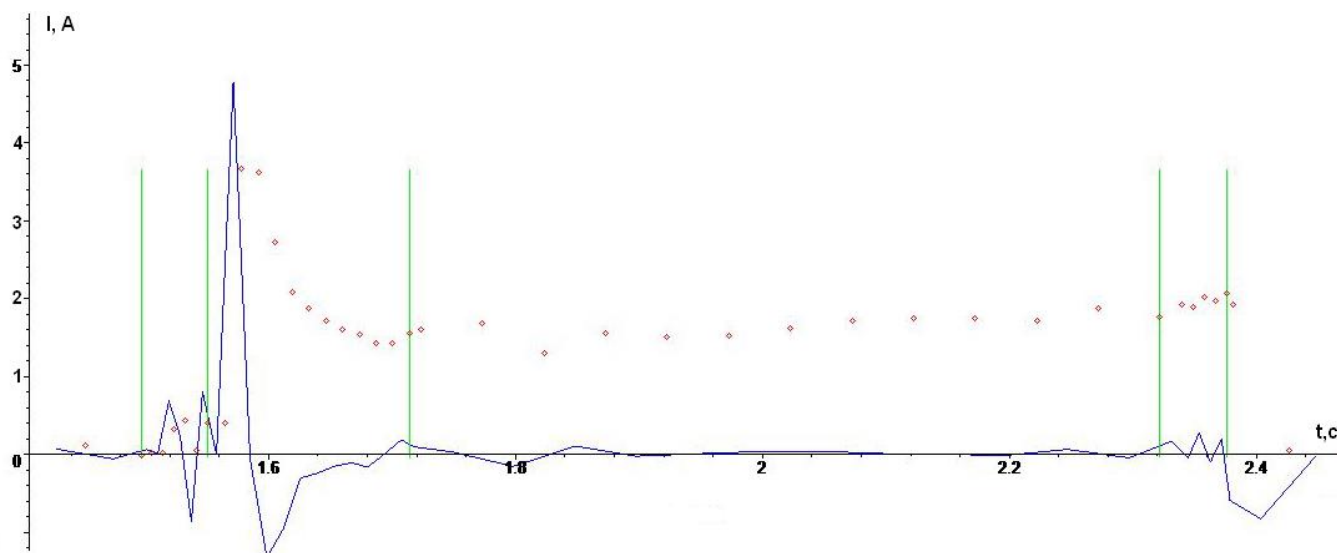


Рис. 3.4. Крива отримана в результаті взяття похідної від вихідних даних масиву.

При використанні системи з автоматичним визначенням границь ділянок на які розбивається функція, для того щоб при короткочасних імпульсах, які можуть виникати наприклад, по причині короткого замикання в якорі двигуна, система не сприймала це як кінець однієї і початок іншої ділянки, програмно задається перевірка, при якій збільшення або зменшення функції відбувається не на одній наступній точці, а на ряді поступаючих один за одним відліків. Це надає змогу в автоматичному режимі розбивати функцію на задану кількість ділянок. Сам процес диференціювання відбувається за наступним чином.

```
> Vec_X_diff[j]:=(Vec_X_mod_v_proc[j+1] - Vec_X_mod_v_proc[j])/2 + Vec_X_mod_v_proc[j];
> Vec_Y_diff[j]:=((Vec_Y_mod_v_proc[j+1] - Vec_Y_mod_v_proc[j]) / (Vec_X_mod_v_proc[j+1] - Vec_X_mod_v_proc[j])) * coef_mashtab_of_diff
```

Для вирішення задач автоматичного виявлення діагностичних ознак необхідно розбити функцію на наступні 6 ділянок. Перша ділянка починається від початку запису і продовжується до початку зростання функції від спрацьовування реле ППР при включенні стрілки на перевід (рис.3.2). Ця ділянка виділено окремо для фіксації

рівня перешкод, які виникають при записі сигналу. Друга ділянка закінчується при переході функції в нуль після переключення реверсивного реле. На цій ділянці можна визначати опір лінійних провідників по величині піка при переключенні реверсивного реле (опір обмотки реле має фіксовану величину). Якщо система побудована таким чином, що запис переводу стрілки відбувається по фіксації спрацьовування реверсивного реле, то ці дві ділянки не вимірюються. Третя ділянка закінчується в момент рушання гостряків стрілки, та будується за допомогою кубічного сплайна. На цій ділянці визначається опір провідників Л1 та Л2 якщо не записуються перша та друга ділянки. Четверта ділянка триває весь час переводу стрілки та закінчується в момент зупинки гостряків. По цій ділянці визначається основна кількість відмов стрілочного переводу та стрілочного двигуна. П'ята ділянка починається при зростанні струму на кривій часової залежності та закінчується при початку зменшення рівня струму. Ця ділянка також будується за допомогою кубічного сплайна і дозволяє визначати таку несправність як биття гостряка або віджимання рамної рейки гостряком. Остання шоста ділянка починається при зупинці гостряка і закінчується при зупинці запису. На цій ділянці можна визначати відмови по перехідних процесах в двигуні котрий працює в режимі генератора, та рівень перешкод при відсутності першої ділянки.

Таким чином для відображення форми кривої часової залежності струму вибрано метод інтерполяції сплайнами по окремих ділянках кривої.

3. 2. Виявлення відмов стрілочного переводу шляхом порівняння форми кривої струму з зразковою кривою

Для визначення тієї чи іншої відмови стрілочного переводу необхідно за допомогою діагностичних ознак зафіксувати виникнення відмови та передати інформацію обслуговуючому персоналу. Але для фіксації відмови необхідно записану та оцифровану криву часової залежності струму з чимось порівнювати [76]. Наприклад для фіксації завищеного струму при переводі стрілки на фрикцію необхідно мати рівень струму при нормальному переводі стрілки (струм фрикції не повинен перевищувати більш ніж на 30 % струм нормального переводу). Але рівень струму при нормальному переводі для поодинокого стрілочного переводу

з маркою хрестовини 1/11 або 1/9 та залізобетонними шпалами з рейками Р65 не повинен перевищувати 2,5 А при типі двигуна МСП-0,25 при напрузі 160 В [9]. В дійсності, в залежності від стану механічних частин та обслуговування стрілочного переводу з боку працівників служби колії рівень струму може коливатися від 1,5 А до 2,5 А, і відповідно нормальний перевід для однієї стрілки складає 1,8 ампера, а для іншої 2,5 ампера. Така сама ситуація і для часу переводу стрілки, в якому нормується тільки максимально допустимий час, але для кожної стрілки навіть з однаковими двигунами та маркою хрестовини час переводу різний. З вище приведеного можна зробити висновок, що універсальної зразкової кривої часової залежності струму стрілочного двигуна з якою можна було б порівнювати всі вимірювальні криві не існує. Тому для порівняння необхідно для кожного стрілочного переводу задавати свою зразкову криву часової залежності струму. В дійсності, ця крива не обов'язково буде зразковою, тобто на ній можуть бути якісь не значні сплески та перепади рівня струму, але вона обов'язково повинна бути записана при справному стані саме заданого стрілочного переводу (рис. 3.5). Після такого запису, котрий повинен проводити старший електромеханік, ця крива часової залежності зберігається в пам'яті комп'ютера як взірцева і всі наступні записані при переводі даної стрілки криві порівнюються з нею.

При записі зразкової кривої необхідно перевірити повністю стан стрілочного переводу та приводу для того щоб в ньому не було ніяких відмов, рекомендується це виконувати після зовнішньої перевірки стрілочного переводу та внутрішньої перевірки стрілочного приводу. Обов'язково необхідно замінити зразкову криву часової залежності струму при заміні стрілочного двигуна, стрілочного приводу або стрілочного переводу.

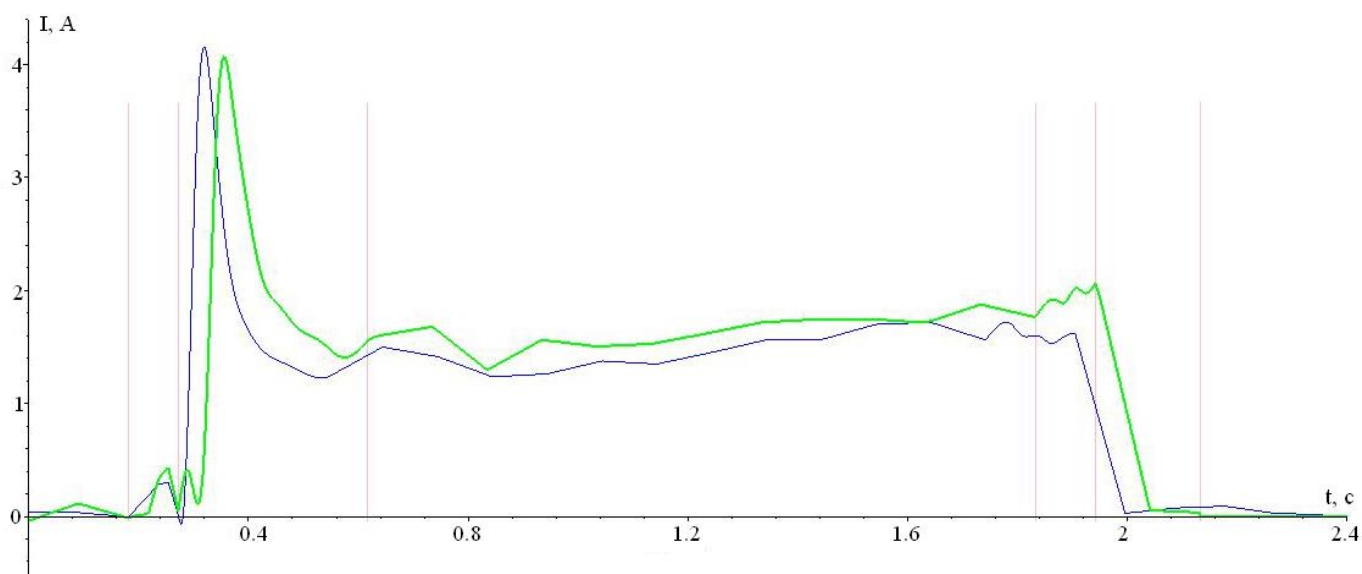


Рис. 3. 5. Зразкова та реальна криві часової залежності струму
без корекції початку ділянок.

Для порівняння відповідних ділянок кривої часової залежності струму зразкової та виміряної через деякий час, необхідно щоб ділянки на які розбивається крива при відтворенні з масиву даних співпадали між собою. За звичай, якщо вимірювання струму починати з моменту спрацьовування реле ППР, то криві майже будуть співпадати. Але якщо вимірюється всі шість ділянок, тобто вимірювання проходить і без переводу стрілки (фіксується постійна та змінна складова струму контрольного ланцюга), то криві необхідно скорегувати , для співпадання границь ділянок на які вони розбиваються (рис. 3. 6).

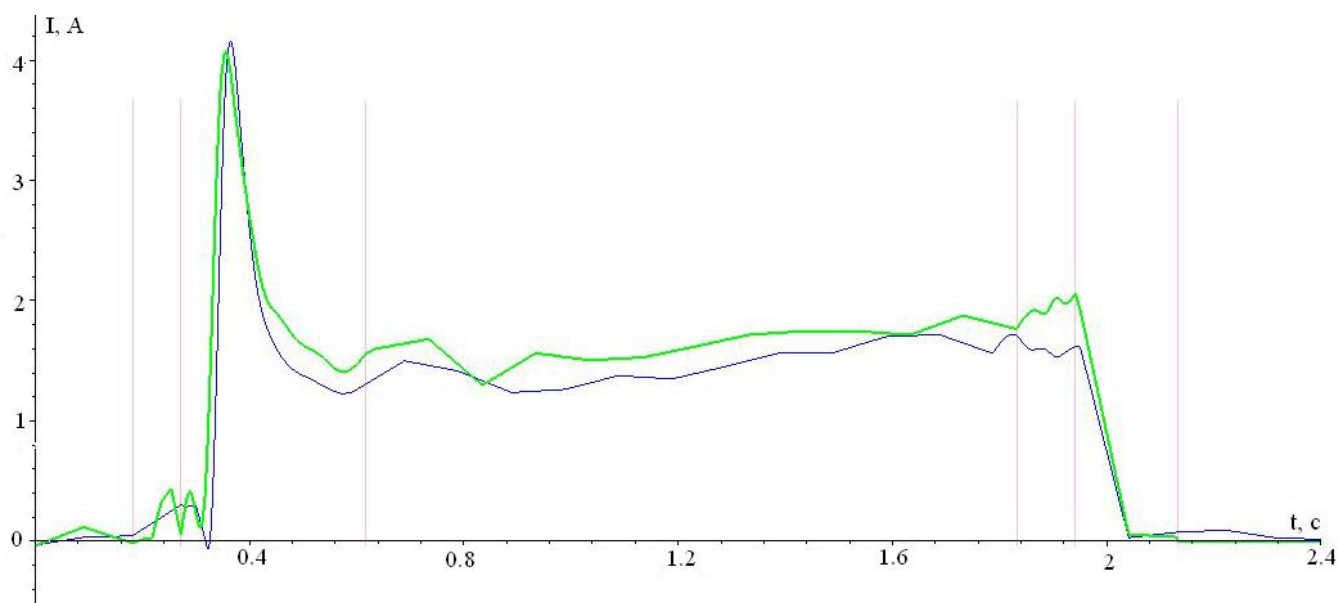


Рис. 3. 6. Зразкова та реальна криві часової залежності з корекцією початку ділянок.

Найкраще корегувати криві прив'язуючись до спільної точки кінця перевodu (рис. 3. 6) або до спільної точки максимального рівня струму (третя ділянка). Можливі варіанти коли час перевodu в значній мірі збільшується, і криві струму не має можливості відкоригувати так, щоб всі ділянки співпадали. В такому випадку корекція проводиться спочатку по максимальному рівню і перевіряються перша, друга та третя ділянки, а потім криві корегуються по моменту кінця перевodu і перевіряються четверта, п'ята та шоста ділянка.

На рис. 3. 7. приведена зразкова крива часової залежності стрілки та пізніше заміряна крива часової залежності з коротким замиканням в колекторі цієї ж стрілки без корекції. Як видно з рис. 3. 7. ділянки зразкової кривої часової залежності не співпадають з ділянками кривої з відмовою (наприклад п'ята ділянка кривої з відмовою потрапляє в шосту ділянку зразкової кривої), і проводити порівняльний аналіз по ділянках на предмет виявлення тих чи інших відмов не є можливим. Тому перед порівнянням в автоматичному режимі відбувається корекція кривої з відмовою по принципу приведеному вище.

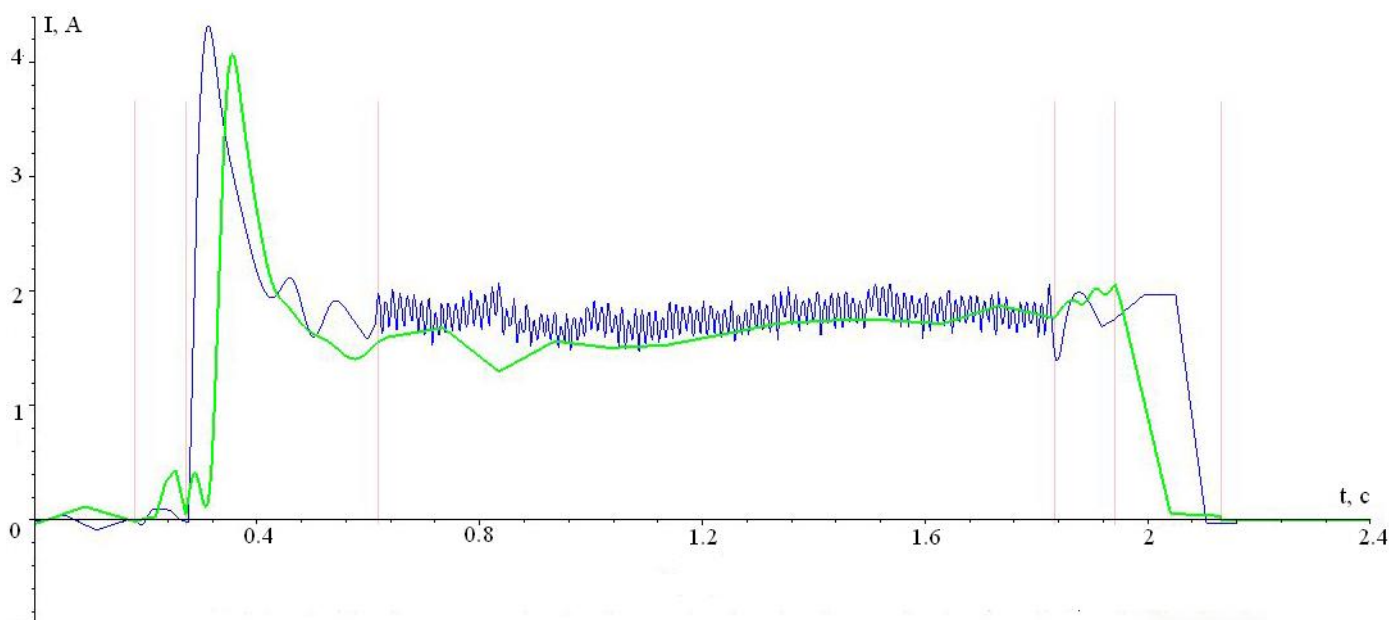


Рис. 3. 7. Зразкова крива часової залежності та крива з відмовою КЗ в колекторі без корекції.

3. 3. Порівняння кривих струму методом допустимих значень та методом інтегралів або площин

Для вирішення задачі фіксації відмови по визначених критеріях оцінки необхідно визначати на яких ділянках кривої часової залежності струму значення струму перевищує допустиме. Для цього використано коридори допустимих значень які задано програмно. При цьому задано два коридори допустимих значень вище кривої та два коридори нижче кривої (рис.3.8).

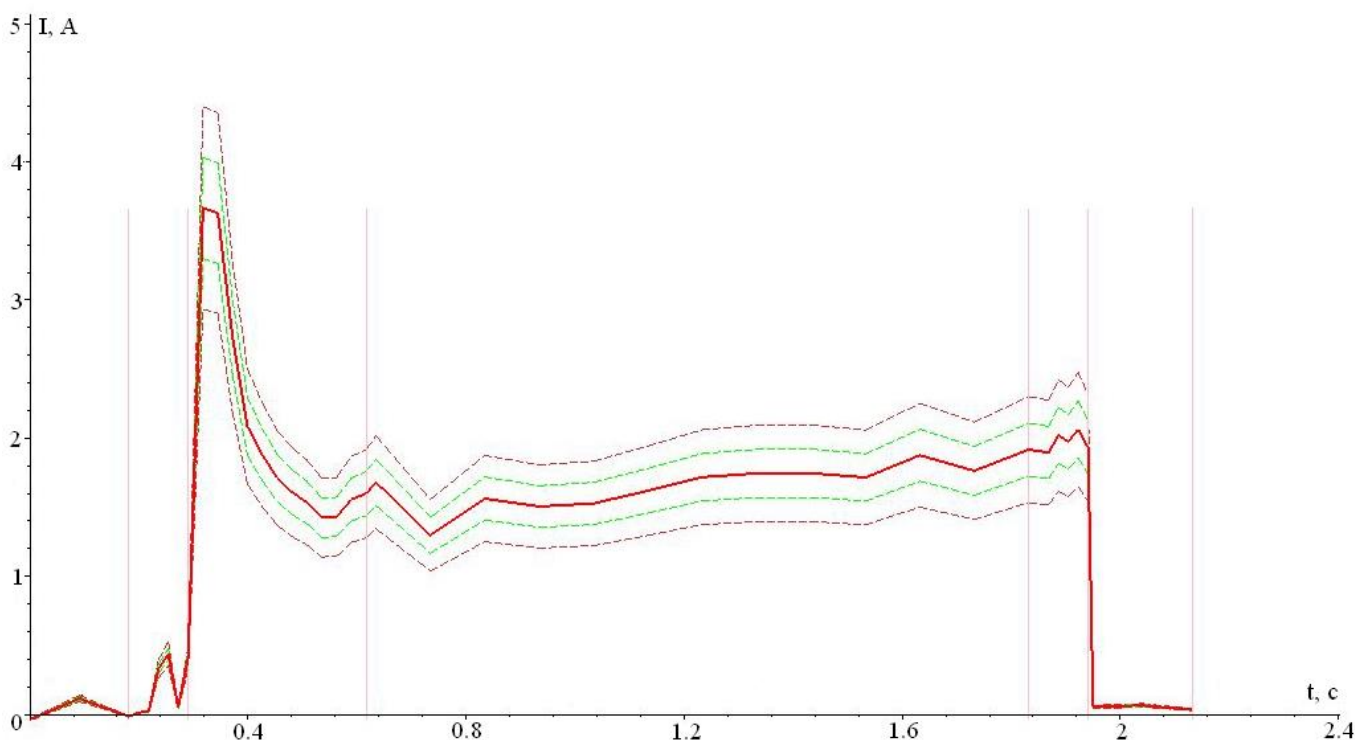


Рис. 3. 8. Крива струму переходу стрілки з коридорами 10 та 20 %.

Величина струму в коридорах складає 10 та 20 процентів від величини струму на даній ділянці. Величини струму в граничних значеннях можна задавати програмно, так як і кількість коридорів та точок які використовуються для побудови кожної ділянки зразкової та аналізованої кривої. Кількість точок на кожній ділянці задається кроком дискретизації (на першій ділянці взято кожену 1000 точку вибірки, на другій – кожену двохсоту і т.д.). Крім цього задається крок дискретизації яка використовувалась при записі кривої часової залежності струму за допомогою аналогово-цифрового перетворювача.

$freq := 22050$

$T := .00004535147392$

```

first:= [ 31000, 44000]
size_konech:= [[ 33200, 34200, 38000, 51600, 52500, 55000],
[ 46600, 47100, 50000, 63500, 65000, 70000]]
step:= [[ 1000, 200, 300, 1100, 200, 1000], [ 1000, 200, 300, 1100, 200, 1000]]
step_default:= 1
num_of_file_for_corridor:= 1
percent_of_corridor:= [ 10, 20] .

```

Величина першої межі коридору 10 % вибрана з розрахунку можливих відхилень значення кривої часової залежності струму пов'язаних з відхиленням в зв'язку з незначним погіршенням кліматичних умов або температури зовнішнього середовища. На основі статистичного аналізу часових залежностей струму переведення стрілок визначено що розподілення підпорядковане нормальному закону розподілу щільності ймовірностей, визначено маточікування = 1.7103156522, дисперсію = 0.0015925978, та середньоквадратичне відхилення. = 0.039907365218, за якими визначено граничні функції струму переведення стрілок що дозволяють використовувати коридор в межах 10%.

Під методом допустимих коридорів мається на увазі побудова верхньої та нижньої меж (що і утворюють т.зв. коридор) для відносно зразкової кривої. І при виході даної кривої, що зараз аналізується, за межі цього коридору діагностується наявність несправності. При перевищенні першої межі є можливість прогнозувати виникнення відмови, тобто при таких значеннях стрілка працює нормально, але відмова вже почала розвиватись. При перевищенні рівня другого коридору, вмикається тривожна індикація та фіксується відмова стрілочного переводу. При цьому проводиться повний аналіз кривої струму (втому числі і спектральний) і виявляється яка саме відмова виникла. Друге граничне значення 20 процентів задається суб'єктивно і може бути збільшене або зменшене при подальших дослідженнях і накопиченні більшої статистичної бази. При закладенні в програму більшої кількості коридорів можливо більш точно відстежувати розвиток несправності та запобігати відмові до її виникнення. При перевищенні допустимої величини струму на якійсь з ділянок, в деяких випадках можна відразу визначати і тип несправності (наприклад при перевищенні допустимої величини на п'ятій ділянці, можна відразу визначати несправність типу биття гостряка або віджим рамної рейки).

А в випадку перевищення величини струму на четвертій ділянці, не можна однозначно визначити яка відмова, бо тут потрібно крім величини аналізувати також форму кривої.

Для аналізу форми кривої на четвертій ділянці використано метод інтегралів. Під методом площин (або інтегралів) мається на увазі обраховування площі кривої, що зараз аналізується, при її виході за межі коридору побудованого для умовно зразкової кривої [77]. Підрахунок площі здійснюється за допомогою різниці визначених інтегралів, межі яких визначаються точками перетину аналізованої кривої та допустимого коридору, та обмежуються функціями допустимого коридору та даної аналізованої кривої.

$$S = \int_a^b f_{\text{д\ddot{a}д\ddot{e}}.}(\tilde{o})dx - \int_a^b f_{\text{н\ddot{o}}.}(\tilde{o})dx \quad (3.7.)$$

a та b — початкова та кінцева точки визначених інтегралів, які можуть приймати значення: точка перетину аналізованої кривої з коридором (верхнім чи нижнім); межі кускових функцій (що обраховуються для отриманих точок даних); межі ділянок, на які суб'єктивно розділили умовно-ідеальну криву.

$f_{\text{реал.}}(x)$ — значення кускової функції реальної (тобто аналізованої), яке відповідає межам обрахованим в даний момент a та b .

$f_{\text{кор.}}(x)$ — значення кускової функції для коридору (спочатку обраховується верхня, потім нижня межа коридору), яке відповідає межам обрахованим в даний момент a та b .

Якщо отримана площа входить в суб'єктивно визначений діапазон, то виноситься рішення про належність (чи неналежність) даної аналізованої кривої до того чи іншого виду несправності. Тобто при такій відмові як коротке замикання в колекторі двигуна, форма кривої на четвертій ділянці має гострі та вузькі списи (рис. 3.9.) і відповідно площин які будуть обраховуватись інтегралами буде багато і з малими площами. При такій відмові як засипання подушок (рис.2.25) площин буде всього декілька, але з значною площею. При струмі фрикції вся ділянка перевищує значення коридору і площа відповідно буде тільки одна але з великою площею.

Для вирішення таких задач крім запропонованих методів можна спробувати застосувати метод динамічних рядів, аналіз за допомогою ряду Фур'є та інші. Поставлена задача взагалі відноситься до класу задач з теорії розпізнавання образів. Для

створення системи, що могла б накопичувати досвід (навчатися) з кожною процедурою аналізу пропонується створення системи з псевдо штучним інтелектом типу нейронних мереж.



Рис. 3. 9. Крива струму з відмовою КЗ в двигуні
з точками перетину кривої та коридору.

3. 4. Застосування неймережевих технологій для діагностування стрілочних переводів з двигуном постійного струму

Останнім часом широкого розвитку набули математичні методи обробки діагностичної інформації, що базуються на застосуванні штучних нейронних мереж [78]. До числа переваг нейронних мереж можна віднести можливість знаходження прихованих залежностей між несправністю й формою діагностичного сигналу, прийняття рішень в умовах неповної інформації, автоматичної класифікації образів форми сигналу а також прогнозування відмов. Застосування апарата нейронних мереж для діагностування стрілочних переводів за формою часової залежності струму дозволить виявляти більшість несправностей в автоматичному режимі, та своєчасно інформувати про них обслуговуючий персонал.

Для створення моделі нейтронної мережі необхідно визначення оптимальної структури нейронної мережі для побудови автоматизованої системи контролю та діагностування стрілочних переводів по кривій струму стрілочного електродвигуна.

На нейронну мережу покладається задача автоматичного визначення несправностей стрілочних переводів по заданим діагностичним ознакам.

За допомогою використання штучних нейронних мереж можна діагностувати всі відмови стрілочного переводу, для яких отримані діагностичні ознаки. Умовно всі вищезгадані відмови можна поділити на два типи:

1. Несправності, контроль яких не потребує спектрального аналізу (несправності діагностичні ознаки яких визначаються по часовій залежності струму).
2. Несправності, що контролюються з використанням спектрального аналізу (несправності що визначаються по частотній залежності струму).



Рис. 3. 10. Формальний нейрон

Найпростішим елементом штучних нейронних мереж є формальний нейрон (рис. 3. 10) [79]. Мережі, побудовані з таких нейронів, можуть сформувати довільну багатомірну функцію на виході.

Нейрон складається зі зваженого суматора й нелінійного елемента. Функціонування нейрона визначається формулами:

$$NET = \sum_i w_i x_i \quad (3.8.)$$

$$OUT = F(NET), \quad (3.9.)$$

де: x_i — вхідні сигнали, сукупність всіх вхідних сигналів нейрона утворює вектор x ; w_i — вагові коефіцієнти, сукупність вагових коефіцієнтів утворює вектор синоптичних ваг w ; NET — зважена сума вхідних сигналів; F — нелінійна функція, що називається функцією активації. Нейрон має кілька вхідних сигналів x й один вихідний сигнал OUT . Параметрами нейрона, що визначають його роботу, є: вектор ваг w і вид функції активації F .

Вибір функції активації визначається специфікою задачі, зручністю реалізації на комп'ютері та алгоритмом навчання і, як правило, не впливає на рішення задачі, але може збільшити або зменшити час навчання в кілька разів. Для багат шарових

перцептронів й інших мереж з безперервними сигналами дуже часто застосовується логістична функція (рис.3.11) (сигмоїда, функція Фермі), [80,81].

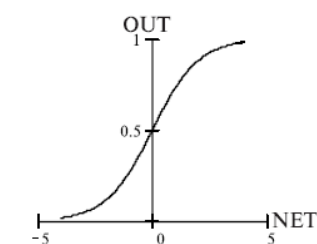


Рис. 3. 11. Логістична функція

$$OUT = \frac{1}{1 + e^{-NET}} \quad (3.10.)$$

Безперервність першої похідної функції дозволяє навчати мережу градієнтними методами (наприклад, метод зворотного поширення помилки).

Формальні нейрони можуть поєднуватися в мережі різним способом. Найпоширенішим видом мережі став багат шаровий перцептрон (рис. 3.12). Мережа складається з довільної кількості шарів нейронів. Нейрони кожного шару з'єднуються з нейронами попереднього й наступного шарів за принципом "кожний з кожним".

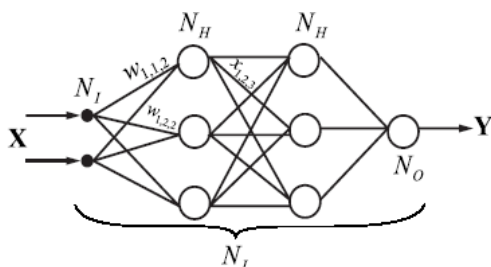


Рис. 3. 12. Багат шаровий перцептрон.

Перший шар (ліворуч) називається сенсорним або вхідним, внутрішні шари називаються прихованими або асоціативними, останній (самий правий, на малюнку складається з одного нейрона) – вихідним або результуючим. Кількість

нейронів у шарах може бути довільною. Вхідний шар: N_I нейронів; N_H нейронів у кожному прихованому шарі; N_O вихідних нейронів. x – вектор вхідні сигнали мережі, y вектор вихідних сигналів.

Вхідний шар не виконує ніяких обчислень, а лише розподіляє вхідні сигнали, тому іноді його враховують, іноді – ні. Через N_L позначають повну кількість шарів у мережі, враховуючи вхідний.

Робота багат шарового перцептрона описується формулами:

$$NET_{jl} = \sum_i w_{ijl} x_{ijl} \quad (3.11.)$$

$$OUT_{ij} = F(NET_{ij}) \quad (3.12.)$$

$$x_{ij(l+1)} = OUT_{il} \quad (3.13.)$$

де індекс i — номер входу, j — номер нейрона в шарі, l — номер шару; x_{ijl} — i -й вхідний сигнал j -го нейрона в шарі l ; w_{ijl} — ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона номер j -му шарі l ; NET_{jl} — сигнал NET j -го нейрона в шарі l ; OUT_{jl} — вихідний сигнал нейрона; θ_{jl} — граничний рівень нейрона j у шарі l .



Рис. 3.13. Алгоритм пошуку несправностей

Для діагностування, необхідно записати форму діагностичного сигналу (кривої струму) у цифровому вигляді. Криву часової залежності струму стрілочного двигуна знімають з резистора, послідовно включеного в лінійне коло, оцифровують за допомогою аналого-цифрового перетворювача, записують в пам'ять комп'ютера. Після запису виконують попереднє перетворення діагностичного сигналу (рис.3.13).

Для діагностування несправностей 1-го типу на входи першого шару штучних нейронних мереж можна подати (після необхідної обробки) цифровий сигнал, що несе інформацію про криву часової залежності струму.

Для діагностування несправностей 2-го типу сигнал за допомогою перетворення Фур'є представляють у вигляді спектрограми. Для навчання багатошарового перцептрона із сигналів, отрима-

них у результаті роботи як справних стрілочних переводів так і при наявності різних несправностей формують навчальну вибірку. Від складу, повноти, якості навчальної вибірки значною мірою залежать час навчання штучних нейронних мереж і вірогідність одержуваних моделей (рис.3.14).

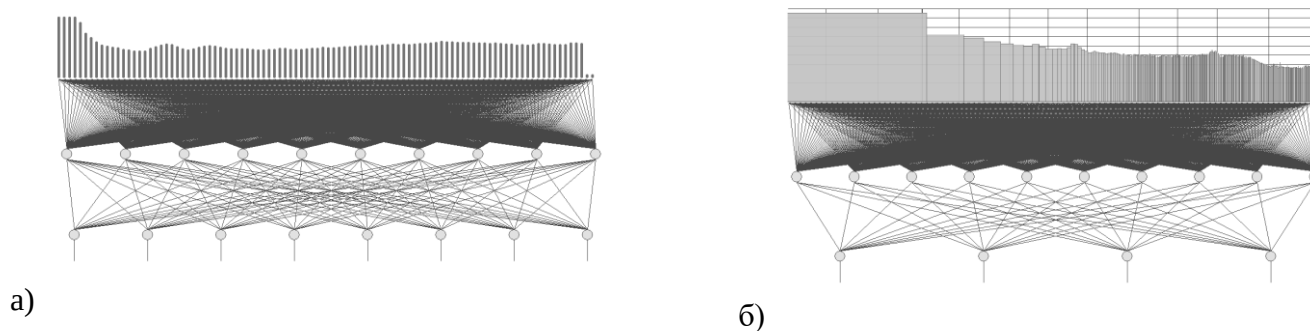


Рис. 3.14. штучна нейронна мережа для аналізу діагностичного сигналу
(а – для розпізнавання аномальної форми кривої струму,
б – для виявлення гармонік відмов в спектрі сигналу).

Перед навчанням мережі необхідно визначити конфігурацію і параметри багатошарового перцептрона: вибрати число шарів і нейронів у шарі, задати діапазон зміни входів, виходів, ваг і граничних рівнів, з огляду на множину значень обраної функції активації; присвоїти початкові значення ваговим коефіцієнтам і граничним рівням і додатковим параметрам (наприклад, крутості функції активації, якщо вона буде настроюватися при навчанні). Розроблено алгоритм навчання мережі на прикладі двошарового перцептрона (додаток Е).

Навчений двошаровий перцептрон реалізує таку функцію:

$$y(n) = f \left[\sum_{h_1=0}^{H_1} a_{h_1} f \left[\sum_{i=0}^N a_i x_i(n) \right] \right]; \quad (3.14)$$

де a_i - ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона n шару 1; a_{hi} - ваговий коефіцієнт i -го входу нейрона n шару 2; x_i - вхідні значення нейронної мережі; f - функція активації; $y(n)$ - значення виходу нейрона n ; N - розмірність вхідного сигналу

Після закінчення навчання проводять розпізнавання стану стрілочного переводу за формою кривої струму, що не входить до навчальної вибірки з метою тестування правильності роботи штучної нейронної мережі за алгоритмом, показаним на рис. 3.13. Для завдання діагностичних ознак для штучної нейронної мережі можна користуватись і іншими методами виявлення (нечіткі множини, вейвлет перетворення, взаємно кореляційні функції і т.д.) [82].

3. 5. Висновки до третього розділу

1. Розроблені методи автоматичної обробки результатів проведених вимірювань без участі оператора, за допомогою яких на основі статистичного аналізу часових залежностей струму переведення стрілок визначено закон розподілу щільності ймовірностей, функції математичного очікування та середнє квадратичного відхилення струму, за якими визначено граничні функції струму переведення стрілок та проведено їх апроксимацію сплайнами. Величина струму в коридорах прийнята 10 процентів від величини струму нормального переводу.

2. Виконано побудову кривої часової залежності струму та граничних функцій за допомогою інтерполяції даних отриманих в результаті вимірювань і за допомогою шести різних сплайнів, проведено математичний опис часової залежності струму переведення стрілки. Поділ кривої часової залежності струму переведення стрілки на ділянки для інтерполяції проводиться в автоматичному режимі, шляхом знаходження точок екстремумів функції.

3. Обґрунтовано використання розробленого методу автоматичного діагностування стрілочних переводів, на основі аналізу функції струму переведення стрілки в часовій та частотній області з використанням запропонованої процедури інтегральної оцінки відхилення струму від граничних значень.

4. Використано апарат штучних нейронних мереж для діагностування стрілочних переводів з двигуном постійного струму. За допомогою нейромережевих технологій реалізується пошук відмов стрілки по заданим діагностичним ознакам в автоматичному режимі. Для реалізації даної задачі вибрана нейронна мережа на двошаровому процептроні.

4. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ РОБОТИ, СТРУКТУРИ ТА ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ І ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

4.1. Структура системи контролю стрілочних переводів і електродвигунів

Для діагностики стрілочного приводу з використанням датчиків, необхідно в стрілочному переводі встановити пристрої, які діагностуватимуть автоперемикач, редуктор, курбельний контакт, реле ППР і т.д. Також необхідні додаткові жили кабелю для передачі від датчиків інформації на пристрої, які приймають рішення. Це пов'язано з великими додатковими затратами. Запропонована система діагностики стрілочного електродвигуна та стрілочного переводу функціонує без додаткових датчиків і без перешкод для нормального функціонування електричної централізації. Винести рішення про справність і працездатність двигуна можна за допомогою аналізу кривої часової та частотної залежності струму [83-86]. Для реєстрації струму, необхідно створити наступну підсистему діагностики (рис. 4.1).

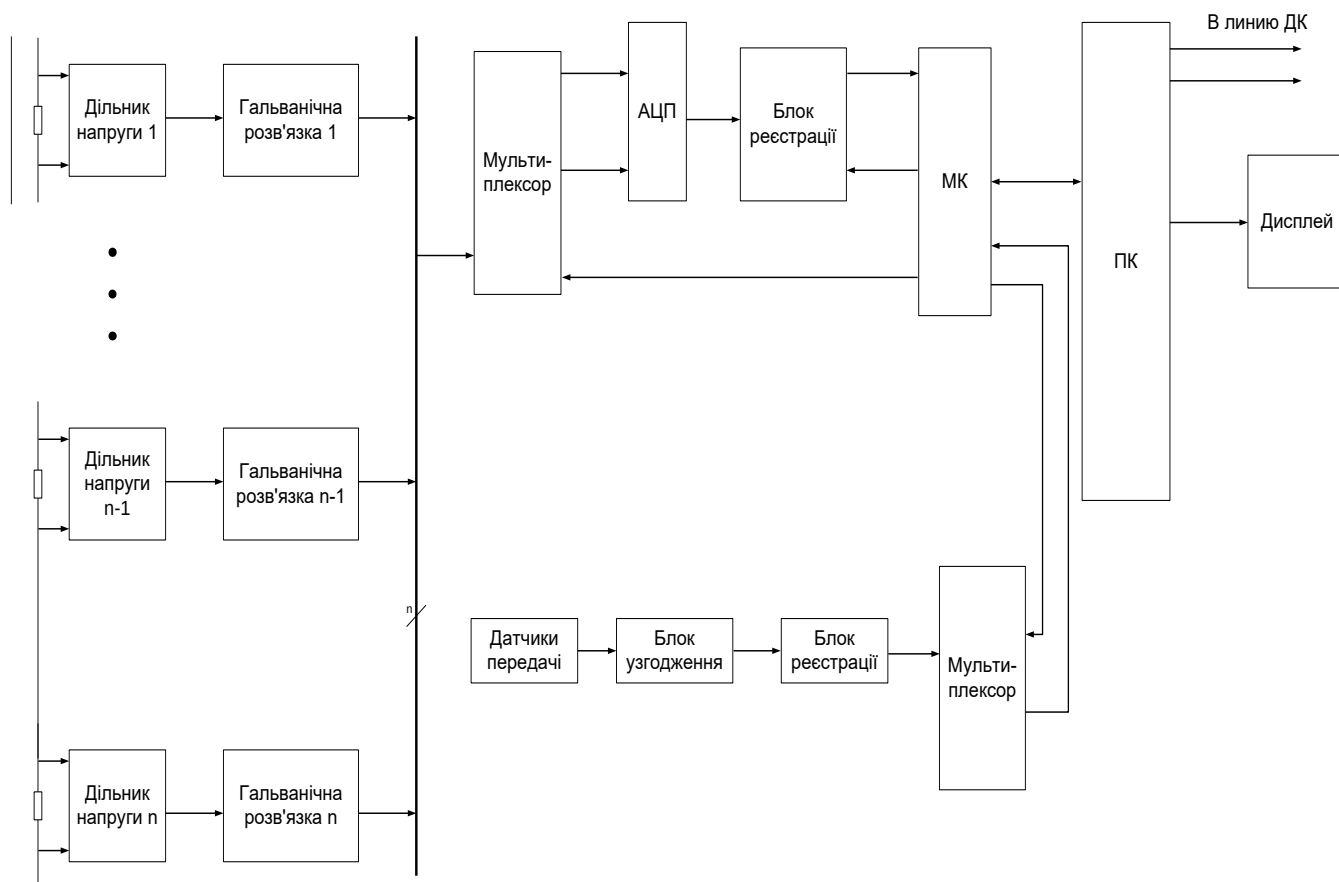


Рис. 4. 1. Структурна схема системи діагностики стрілочних двигунів та переводів.

В робочий коло стрілочного приводу в лінійні провідники Л1 і Л2 встановлюється невеликий опір R1 (1-2Ом). Величина резистора R1 принципової ролі не грає, бо хоч активний опір обмоток збудження двигуна не великий (декілька Ом в залежності від типу двигуна) і близький по величині до опору додаткового резистору, та впливу на роботу стрілки це не створюватиме, тому що опір самих лінійних провідників Л1 та Л2 від 20 до 40 Ом, в залежності від розташування стрілки на станції. При проведенні експериментів використовувався опір R1=1Ом. Падіння напруги на резисторі R1, включеному послідовно в коло живлення двигуна, пропорційне рівню струму який протікає через стрілочний двигун [87].

4.2. Принципи та алгоритми функціонування системи діагностування та контролю стрілочних переводів та електродвигунів

При переключенні черговим по станції стрілочного комутатора і подачі команди на перевід стрілки, датчик переводу стрілки, підключений до ланцюга керування стрілочним переводом, реєструє команду на переведення даної стрілки. Його вихід підключений до блоку узгодження рівнів сигналів, і з виходу якого сигнал подається до блоку реєстрації початку переводу стрілок. Мікроконтролер із заданою періодичністю підключає вихід блоку реєстрації на вхід мультиплексора, и циклічно перевіряє наявність сигналу на всіх його входах. Визначивши на якому саме вході мультиплексора є сигнал, мікроконтролер визначає номер стрілки яка буде зараз переводитись і відповідно подає сигнал на другий мультиплексор, який підключає на вхід аналогово-цифрового перетворювача саме той свій вхід котрий зв'язаний з стрілкою яка переводиться. Вся ця процедура відбувається за дуже малий проміжок часу і мікроконтролер встигає підключитись на прийом сигналу від аналогово-цифрового перетворювача за час, який проходить між включенням реле НПС та реле ППР схеми керування стрілкою. Момент коли спрацьовує ППР вже записується в мікроконтролер. Така структура системи реалізується для малих станцій з відсутнім маршрутним набором. В разі коли система використовується на електричній централізації великих станцій де застосована система блочної маршрутно-релейної централізації або будь-яка інша система в якій маршрут задається натисканням двох кнопок, принцип

функціонування системи діагностування та контролю стрілочних переводів де-що зміниться. Це пов'язано з тим, що при маршрутному наборі стрілки по встановленому маршруті переводяться автоматично за допомогою реле ПУ та МУ, і відповідно стрілочні комутатори не використовуються. Так як датчики фіксації переводу стрілки фіксують команду на перевід стрілки від стрілочних комутаторів, то вони працювати не будуть при маршрутному наборі. Тому в цьому випадку необхідно встановлювати додаткові датчики на фіксацію натискання поїзних та маневрових кнопок черговим по станції. Таким чином, після реєстрації датчиками натискання кнопок початку та кінця маршруту, ця інформація через блок узгодження, блок реєстрації, мультиплексор, та мікроконтролер потрапляє в обчислювальну машину. Комп'ютер по натиснутих кнопках початку і кінця маршруту визначить які саме стрілки зараз будуть переводитись і відповідно до якої стрілки необхідно підключати аналогово-цифровий перетворювач. При такій побудові системи додатково з'являється можливість підключитись для фіксації кривої струму до тієї стрілки в маршруті, яка перевірялась найдавніше. В разі встановлення черговим по станції маршруту індивідуальним переводом кожної стрілки, або при перевірці стрілок на щільність прилягання перевід стрілки фіксуватиметься по алгоритму, який використовується для електричної централізації малих станцій (додаток Е). При одночасному переводі декількох стрілок можна проводити запис тільки однієї кривої струму (в іншому випадку система значно ускладнюється), тому комп'ютер визначає яка стрілка переводилась раніше і підключає її на запис кривої часової залежності струму.

Після спрацьовування ППР по резистору R починає протікати робочий струм, падіння напруги через перетворювач попадає до блоку гальванічної розв'язки далі через відкритий мультиплексор проходить на аналого-цифровий перетворювач, в якому оцифровується і в цифровій формі передається на регістр-замикач з якого циклічно зчитується мікроконтролером. Оцифрована форма кривої струму електродвигуна стрілочного переводу записується в пам'ять мікроконтролера і потім передається в персональний комп'ютер. В персональному комп'ютері крива струму порівнюється з зразковою кривою і по результа-

тах цього порівняння виносяться рішення про стан стрілочного переводу. Криві зберігаються в масиві на протязі певної кількості циклів, що дає змогу відстежувати розвиток поступових відмов та прогнозувати час досягнення відмовою критичного значення [88-91].

В зв'язку з тим що стрілки електричної централізацією переводяться з різною періодичністю (одні переводяться десятки разів на день, інші кілька разів на тиждень), а контролювати необхідно всі стрілки включені в електричну централізацію, то персональний комп'ютер настраює в мікроконтролері пріоритети зчитування інформації. У випадку коли система встановлена на станції з невеликою кількістю стрілок, можна не використовувати в якості керуючого елемента електронно-обчислювальну машину, а задовольнитись лише мікроконтролером та пристроєм відображення інформації.

Якщо діагностика стрілочних електродвигунів є однією з підсистем загальної діагностики електричної централізації станції, і на станції обладнано робоче місце електромеханіка на базі персонального комп'ютера, то функції ПІС-контролера виконує процесор комп'ютера. В цьому випадку пристроєм відображення є дисплей, що дає ряд переваг. По-перше, електромеханік має можливість при вступі двигуна в передвідмовний стан, легко визначити яка саме відмова розвивається в двигуні. По-третє, для обробки сигналу можна використовувати типові пакети програм що істотно спрощує програму обробки сигналу.

4.3. Структура системи діагностування та контролю станційних пристроїв електричної централізації

При створенні системи діагностики станційних пристроїв, в першу чергу необхідно перевіряти стан колійних пристроїв. Для підвищення надійності кожен групу об'єктів раціонально перевіряти окремим мікроконтролером, що дасть змогу при виході з ладу одного з них користуватися функціями системи по перевірці інших пристроїв. Кожний з контролерів необхідно резервувати і використовувати одну з безпечних структур підключення (наприклад дублювання з сильними зв'язками). Функціональна схема системи діагностики має таку структуру (рис. 4.2).

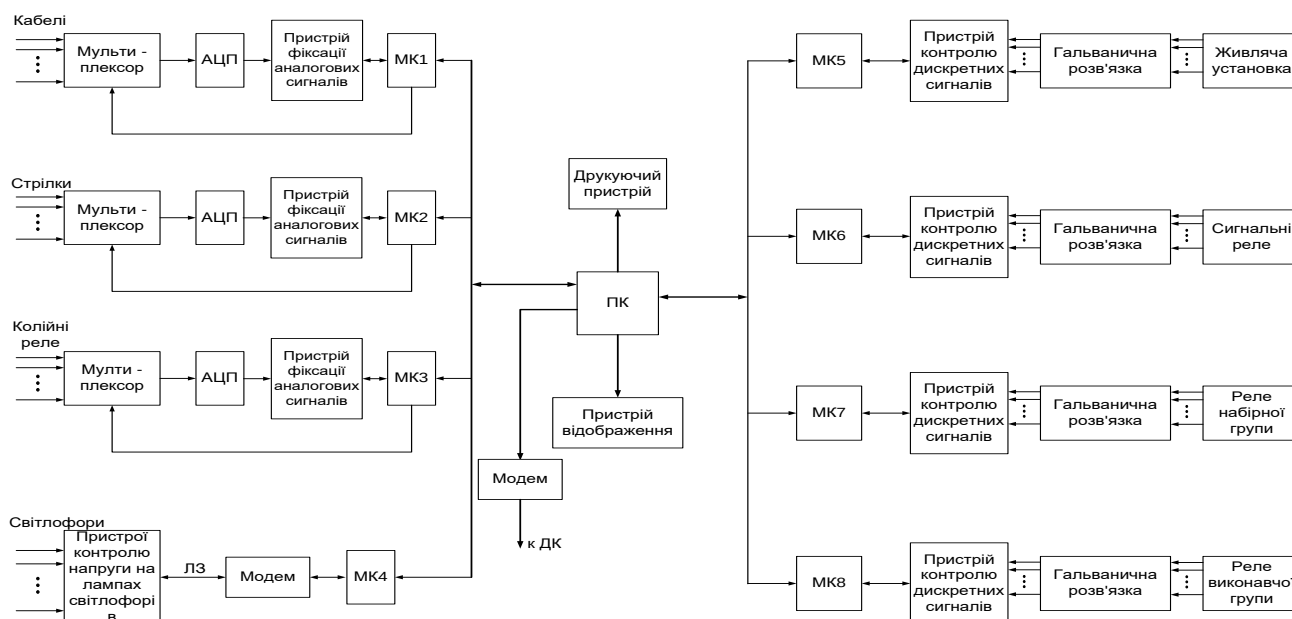


Рис. 4. 2. Структурна схема системи діагностування пристроїв електричної централізації.

Персональний комп'ютер, який виконує головну функцію в даній системі зв'язаний шиною даних з мікроконтролерами (МК1-МК8) кожний з яких виконує контроль та діагностування однієї групи об'єктів електричної централізації. Мікроконтролери знаходяться в релейному приміщенні і зв'язані з контролюваними об'єктами або безпосередньо, або через лінію зв'язку.

Мікроконтролер МК1 зв'язаний з пристроєм фіксації аналогових сигналів, який представляє собою регістр-замикач. Який в свою чергу зв'язаний з аналого-цифровим перетворювачем, на якому оцифровується аналоговий сигнал, котрий знімається з виходу мультиплексора. Вибір активного входу котрого, також реалізується мікроконтролером МК1. На входи мультиплексора подається сигнал від пристроїв діагностування кабелів сигналізації, централізації та блокування.

Контролер МК2 реалізує функції аналогічні контролеру МК1 за винятком того, що на входи мультиплексора подаються сигнали від пристроїв діагностування стрілок.

Контролер МК3 виконує такі ж самі функції, але на входи мультиплексора приймає сигнал від колійних реле.

В якості мультиплексора можна використовувати будь який інший пристрій який виконував би функцію комутації багатьох вхідних сигналів на один вихідний. Наприклад, кроковий шукач, компаратор и т.д. Але дані пристрої забезпечують лише переключення вхідних каналів на вихід по заданому циклу, підходить для діагностики кабелів сигналізації, централізації та блокування та колійних реле та не підходять для діагностування стрілок. При діагностиці стрілок необхідно підключати на вхід аналогово-цифрового перетворювача ту стрілку, яка в даний момент переводиться. Для цього потрібно щоб вхідні сигнали від стрілок на вхід аналогово-цифрового перетворювача подавались не по черзі, а по команді мікроконтролера. Такі функції краще виконує мультиплексор.

МК4 зв'язаний за допомогою модему через лінію зв'язку з пристроями контролю напруг на лампах станційних сигналів.

МК5 зв'язаний з пристроєм контролю дискретних сигналів, котрий також є регістром-замикачем. Регістр виконує функції буфера між мікроконтролером та блоком гальванічної розв'язки на вхід якого поступають сигнали від живлячої панелі поста електричної централізації. В якості гальванічної розв'язки можна використовувати звичайну схему на оптопарі так як при контролі дискретних сигналів достатньо інформації двох рівнів, нуля та одиниці. У контролерів МК1, МК2, МК3 немає блоку гальванічної розв'язки так як її реалізує аналого-цифровий перетворювач.

Мікроконтролер МК6 так як і МК5 зв'язаний з пристроєм контролю дискретних сигналів та гальванічною розв'язкою. На вхід гальванічної розв'язки підключені сигнальні реле.

МК7 і МК8 також підключені до пристроїв контролю дискретних сигналів та гальванічних розв'язок. На входи гальванічних розв'язок підключені реле набірної та виконавчої групи відповідно.

Мікроконтролери виконують функції збору та первинної обробки інформації, після чого вона передається на персональний комп'ютер.

4. 4. Принцип функціонування системи технічної діагностики пристроїв електричної централізації

Принцип функціонування даної системи наступний. Персональний комп'ютер по черзі приймає інформацію від мікроконтролерів МК1-МК8, аналізує її, порівнює з нормами, створює статистичну базу. Якщо якийсь із параметрів виходить із запланованої нормалі, комп'ютер включить дзвінок і ввімкне застережну сигналізацію на пристрої відображення інформації (дисплеї). Для зручності користування може бути встановлено додатковий пристрій відображення на місці чергування електромеханіків. Додатковий пристрій відображення може бути виконаний як діодний індикатор що сигналізуватиме вихід з ладу об'єкту. Крім цього персональний комп'ютер підключається до системи диспетчерського контролю і передає інформацію через модем по лінії зв'язку диспетчеру служби сигналізації централізації та блокування [92-94].

Друкуючий пристрій необхідний для того щоб старший електромеханік міг надрукувати інформацію про стан пристроїв та апаратури електричної централізації і надати її електромеханікам відповідальним за дану апаратуру.

З МК1 персональний комп'ютер може отримувати наступну інформацію: величину опору кабелів, величину опору окремих жил кабелю та всі інші параметри, котрі потребують контролю. Таку інформацію можна отримати за умови, що на вхід мультиплексора буде приходити інформація від сучасних пристроїв діагностики кабелів які можуть забезпечити контроль цих параметрів. Крім цього МК1 може видати інформацію про місце пошкодження кабелю в випадку виникнення цього пошкодження. персональний комп'ютер видає інформацію про відстань від поста електричної централізації до місця пошкодження. Великим плюсом такого методу діагностування є те, що така система дозволяє виявляти поступові відмови і виправляти їх заздалегідь.

МК2 контролює стрілочні переводи і робота його більш докладно була розглянута в попередніх розділах.

МК3 виконує в основному функції контролю стану колійних реле та величини напруги на них. персональний комп'ютер порівнює величини з нормами для

рейкових кіл, які контролюються за допомогою відповідних колійних реле і при виході напруги за нормаль вмикає індикацію несправності. Діагностична функція заключається в тому що по наближенню контрольованої напруги до границь нормалі можна прогнозувати виникнення відмови.

МК4 через модем зв'язується з датчиками, які контролюють напругу на лампах світлофорів і обробка одержаної інформації в персональному комп'ютері проходить аналогічно як для інформації від колійних реле. Також можливо контролювати напругу на лампах світлофорів за допомогою не прямих даних, контролюючи рівень напруги на живлячій установці і маючи змогу контролювати рівень опору ізоляції сигнальних кабелів. В цьому випадку є змога контролювати перегорання основної нитки двохниткових ламп.

МК5 контролює живлячу установку, при чому контролюються лише дискретні величини, такі як наявність або відсутність живлення того чи іншого об'єкту, або тієї чи іншої підсистеми електричної централізації. При встановленні аналогово-цифрового перетворювача є змога контролювати і аналогові величини (рівні струму та напруги) що дасть змогу контролювати зміну рівнів живлення і наближення їх до критичних значень. Точні виміри всіх ланцюгів живлення надають змогу не проводити контрольні перевірки живлячої панелі які закладені в графік технологічного процесу.

МК 6 контролює стан сигнальних реле і крім цього визначає час затримки на відпадання якорів сигнальних реле.

МК7 і МК8 контролюють відповідність положення реле набірної та виконавчої групи з встановленими маршрутами.

Мікроконтролери МК5 – МК8 не виконують функції діагностування, а лише функції контролю. Алгоритм функціонування системи представлений в додатку Ж.

4. 5. Використання системи технічної діагностики станційних пристроїв в якості порадики для електромеханіка

Система контролю та діагностування стрілочних переводів крім свого безпосереднього призначення може використовуватись і для керування діями електромеханіка у разі раптової відмови. Так як система не має змоги прогнозувати відмови всіх

елементів стрілочного переводу і схеми керування, то при створенні такого комплексу діагностики та контролю необхідно враховувати можливість роботи системи в якості консультанта для електромеханіка, при відмові стрілки [95-99]. Для цього можна скористуватись класичним графом пошуку несправностей в двопровідній схемі стрілки включеної в електричну централізацію.

При використанні такого графа, деякі несправності система може знаходити та визначати сама, а деякі лише за допомогою електромеханіка. При раптовій відмові електромеханік не завжди може зорієнтуватися в причинах виходу з ладу стрілки і правильно провести пошук та усунення несправності. Тому скориставшись порадами комп'ютера електромеханік зможе на багато ефективніше відновлювати працездатність системи. Навіть при створенні набагато досконалішої системи діагностування та контролю стрілочних переводів, деякі відмови діагностувати практично неможливо, наприклад такі як відмова реле і т. д. Тому використання системи діагностики та контролю стрілочних переводів в якості порадики для електромеханіка, є досить актуальним. Також при використанні такої системи з'являється можливість вести електронну документацію по всіх стрілках поста електричної централізації [100,101]. При наявності комп'ютера можна заповнювати паспорт стрілки в електронному вигляді та передавати дані в службу разом з даними про відмови. А такі дані як струм переведення стрілки та струм фрикції при переведенні в обидва боки які записуються електромеханіком в Журнал технічної перевірки пристроїв сигналізації, централізації та блокування форми ШУ- 64 взагалі будуть фіксуватися автоматично без участі електромеханіка, що надасть більш точну та достовірну інформацію.

4. 6. Використання системи контролю стану стрілочних двигунів постійного струму в ремонтно-технічних дільницях

Існуюча методика визначення несправностей стрілочних двигунів в ремонтно-технологічній дільниці

Найбільш часто в двигунах постійного струму з послідовним з'єднанням з'являються такі відмови як коротке замикання та обриви в якорі або обмотках збудження, іскріння або круговий вогонь на колекторі, ізоляція між обмотками та корпусом нижче норми. В пунктах перевірки двигунів ці відмови визначаються наступним чином.

При розбиранні електродвигуна мегомметром вимірюють опір ізоляції обмоток збудження і якоря відносно корпусу електродвигуна. Один вивід мегомметра з клемою «земля» під'єднують до корпусу електродвигуна, а інший до одного з трьох виводів обмоток статора. Результати вимірів заносять в журнал ремонту. Перевірку проводить електромеханік з періодичністю заданою нормативними документами дистанції сигналізації та зв'язку, але не рідше ніж один раз на три роки. Якщо загальний опір ізоляції обмоток збудження і якоря електродвигуна буде менший установленої норми, то після вилучення якоря додатково проводять ті ж вимірювання окремо для обмоток статора та якоря.

При використанні в пункті перевірки двигунів методики визначення стану електродвигуна по кривій протікання струму через стрілочний двигун, немає необхідності проводити такі вимірювання. Система надає можливість визначити всі вище перелічені несправності по кривій протікання струму через стрілочний двигун. Тільки для перевірки опору двигуна відносно корпусу, необхідно додати до запропонованої системи пристрій для визначення опору, та підключити його на вільний порт комп'ютера. Такі пристрої є типовими і використовуються у всіх сучасних електронних вимірювальних приладах.[102-105]

Виявлення і усунення несправностей в обмотках збудження і якоря

До відмов які найбільш часто зустрічаються в обмотках відносяться: замикання між витками або секціями, неякісна пайка з'єднань, обрив провідників, пониження опору ізоляції обмоток по відношенню до корпусу електродвигуна. Для виявлення несправностей вимірюють величину омичного опору обмоток. При цьому навіть незначне відхилення омичного опору обмоток від норми, вказує на несправності. Перед початком вимірювання колекторні пластини очищають від слідів окислення. Для зачистки використовують мілко зернисту шліфувальну шкурку.

Для зручності вимірювань використовують спеціальний пристрій, де на двох середніх стійках розміщують якір, а на двох крайніх стійках закріплюють типові щіткотримачі так, що при опусканні щіток на колектор вони попадають на дві сусідні колекторні пластини. Через виводи до щіток підключають омметр. Відмітивши на колекторі початок перевірки, вручну повільно обертають якір навколо своєї осі, роблячи виміри на кожній колекторній пластині. Омметр пови-

нен показувати постійну величину опору кожної секції якоря. Для більш точного вимірювання обмоток двигунів, котрі мають малий опір (менше 1 Ом), замість омметра використовують міст постійного струму.

Причиною заниженого опору може бути замикання між витками або сусідніми колекторними пластинами. В цьому випадку оглядом перевіряють наявність перемичок які проводять струм між колекторними пластинами, тобто заусенців, слідів мідного або вугільного пилю. Причиною підвищеного опору може бути обрив провідника, або не якісна пайка виводів обмоток.

Для визначення міжвиткових замикань в обмотці якоря, також використовують метод, оснований на створенні магнітного потоку в короткозамкнених витках. Для цього якір розміщують на стійках пристрою для вимірювання опору і під ним встановлюють реактор. Відстань між якорем і реактором повинна бути мінімальною, забезпечуючи вільне обертання якоря навколо своєї осі.

При подачі змінного струму в обмотку реактора магнітний потік який при цьому з'являється буде проходити через якір і при наявності замикань між витками обмотки, виникне струм в замкнутій секції обмотки якоря. Виникнення струму визначають по притяганню до пазу якоря, де лежить несправна секція, тонкої сталеної пластинки 1, розміром $100 \times 10 \times 0.5$ мм. Якір повертають навколо своєї осі на 1-2 паза, а сталену пластину кожний раз переміщують над якорем на відстані 1-2 мм від його поверхні. Щоб переконатися в відсутності обриву в місцях підпайки виводів обмоток до колекторних пластин, знімають в місцях пайки бандаж і омметром перевіряють якість пайки. Величина опору пайки повинна бути рівна нулю. Дефект усувають розпайкою кінця колекторної пластини, зачисткою його і провідника та повторною запайкою. Після усунення дефекту повторно перевіряють опір пайки.

При використанні системи контролю та діагностування по кривих протікання струму через стрілочний двигун, для проведення перевірки стану обмоток збудження та секцій якоря немає потреби навіть розбирати двигун, достатньо лише ввімкнути його на декілька секунд і зняти криву струму. При цьому треба враховувати необхідність запуску електродвигуна з навантаженням, так як при роботі в режимі холостого ходу двигун може вийти з ладу. В якості навантаження можна використовувати

вати заблокований стрілочний редуктор, а величину навантаження регулювати за допомогою фрикційної муфти.

Контрольні перевірки електродвигунів

При контрольних випробовуваннях проводять: вимірювання опору ізоляції обмоток збудження і якоря відносно корпусу; випробовування електродвигуна при підвищеній швидкості обертання якоря; перевірку номінальних даних і якості комутації.

Опір ізоляції обмоток збудження і якоря відносно корпусу проводять мегомметром на 500 В. Опір повинен бути не меншим 100 МОм. Результати вимірювання заносять в журнал ремонту двигунів. Для контрольних випробовувань електродвигунів використовують різні вимірювальні стенди, які виготовляють в дистанціях сигналізації і зв'язку. Ці стенди працюють наступним чином. Електродвигун що перевіряється штепсельними колодкам поєднується із стендом. Універсальними перемикачами до двигуна підключається той випрямляч, опір котрого по номіналу відповідає даному типу електродвигуна. При перевірці на завищену частоту обертання двигуна, яка дозволяє перевірити якість бандажів і кріплень обмоток, підвищують частоту обертання на 1,5% в обидва боки на 2 хв при холостому ході. Підвищення кількості обертів досягається плавним регулюванням напруги яка подається від автотрансформатора ЛАТР. Перевірку номінальних даних електродвигуна проводять таким чином. Двигун який перевіряють поєднують еластичною муфтою з іншим двигуном, котрий працює в режимі генератора. Обидва двигуни закріплюють на спеціальній рамі, і на двигун який перевіряють подають номінальну напругу. Реостатом встановлюють номінальний струм, а тахометром визначають частоту обертання. Різниця частоти обертання в обидва боки не повинна перевищувати 10% від середнього арифметичного обох швидкостей обертання. Причиною різниці частоти обертання може бути зміщення щіток з нейтралі. Якість комутації визначають при перевірці номінальних даних. Причиною сильного іскріння щіток може бути погана їх притирка до колектора, неправильне встановлення щіткотримача, слабе або сильне прилягання щіток до колектора.

При використанні системи перевірки двигунів по кривим протікання струму через стрілочний двигун, видно що повністю замінити такою системою стенд для контрольних вимірювань не можна, без деякої модернізації даної системи.

Структура та принцип роботи пристрою для перевірки електродвигунів в ремонтно-технологічній дільниці

Для створення пристрою контролю та діагностування стану стрілочних двигунів в приміщеннях ремонтно–технологічних дільниць, необхідно створити стенд який матиме наступну структуру (рис.4.3).

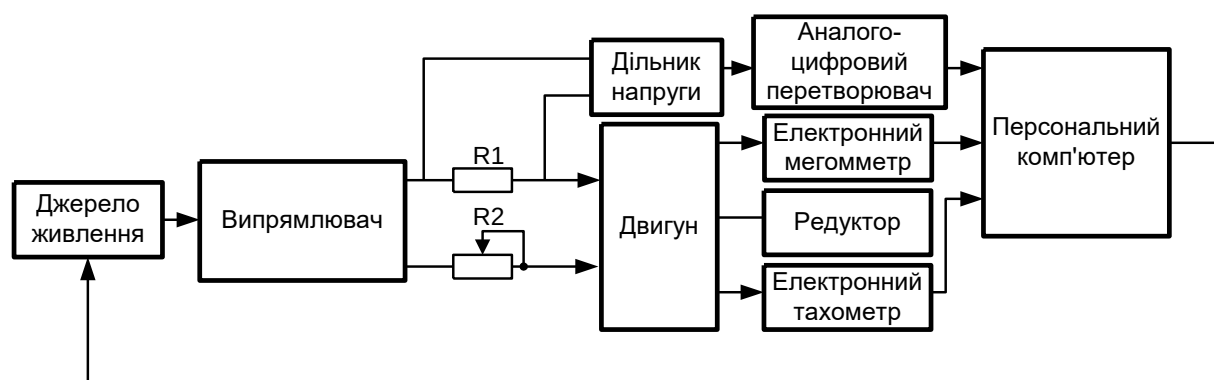


Рис. 4. 3. Структурна схема стенду для перевірки двигунів в ремонтно-технологічній дільниці.

Працювати стенд для перевірки двигунів буде наступним чином. Після встановлення двигуна, підключення до нього живлення від випрямляча та з'єднання валу з редуктором, фрикційна муфта якого дає навантаження на двигун, комп'ютер запускає програму перевірки. При цьому програма перевірки для двигунів з різною потужністю різна. По команді з комп'ютера від джерела живлення через випрямляч на двигун подається номінальна напруга і двигун починає працювати. Крива струму записується в комп'ютер за таким самим принципом як і при контролі та діагностуванні стрілок на станції. Крім цього за допомогою блоку електронного тахометра визначається частота обертання якоря двигуна. Виміри проводяться при переведенні двигуна в один та інший бік. Після закінчення цих вимірів та зупинки двигуна за допомогою електронного мегомметра визначається опір ізоляції двигуна відносно корпусу. При перевірці на завищену частоту обертання двигуна, яка дозволяє перевірити якість бандажів і кріплень обмоток, комп'ютер підвищує частоту обертання на 1,5% в обидва боки на 2 хв. Підвищення кількості обертів досягається плавним

регулюванням напруги яка подається від автотрансформатора ЛАТР. Ця перевірка проводиться вже при знятому навантаженні. Як стає зрозумілим із вищесказаного за допомогою такого стенду можна за 1-2 хвилини зробити повну перевірку електродвигуна без діставання якоря і розкривання корпусу.

Типові норми часу на ремонт і перевірка електродвигуна МСП

Час на перевірку та ремонт одного двигуна визначається за формулою:

$$\dot{O} = \dot{O}_{it} + \dot{O}_{ia} + \dot{O}_{ic} + \dot{O}_{oi} + \dot{O}_{iain} \quad (4.1.)$$

де T_{on} – оперативний час перевірки; $\dot{O}_{ia}$ – час обслуговування робочого місця; $T_{пз}$ – підготовчо-заклучний час; T_{mt} – час виділений для технічних перерв; $T_{пвон}$ – час перерв на відпочинок та для особистих потреб.

Основну частину часу на перевірку складає саме оперативний час, який в свою чергу складається з наступних складових.

Таблица 4.1.

№ п\п	Зміст роботи	Інструменти та вимірювальні прилади які використовуються для роботи	Оперативний час на елемент вимірювання в нормохвилинах
1	Розкриття електродвигуна (знімання шестерні, передньої та задньої кришок)	Знімач, викрутка	2,60
2	Діставання якоря	—	1,00
3	Знімання підшипника з якоря	Знімач,	2,40
4	Очистка якоря і статора від пилу і бруду	Пензель, пілосос	3,80
5	Вимірювання опору ізоляції якоря і статора	Мегомметр	2,20
6	Закріплення бирки з номером даного електродвигуна	—	1,0
7	Установка якоря в сушильну шафу	—	1,0

Продовження табл. 4.1.

8	Розбирання і чистка щіткотримача	Викрутка, торцеві ключі	8,40
9	Збирання щіткотримача	Клемні ключі	7,40
10	Знімання двох катушок	Викрутка	1,40
11	Чистка катушок і двигуна зсередини	Пензель, пілосос	3,25
12	Установка катушок на місце	Викрутка	1,20
13	Установка передньої кришки статора	Викрутка	2,20
14	Очищення якоря від лаку	Металевий шкребок	5,60
15	Просочення якоря лаком	—	2,20
16	Вимірювання ізоляції якоря і статора	Мегомметр	2,20
17	Продорожування колектора якоря	Лобзик	30,20
18	Обробка колектора якоря шляхом шліфовки	—	9,80
19	Промивка підшипників бензином	—	1,60
20	Змазування підшипників	—	1,00
21	Запресування підшипників	—	1,00
22	Збирання електродвигуна	Викрутка, торцеві ключі	9,60
23	Перевірка стану повздовжнього люфту	Щуп	1,00
24	Притирання щіток та перевірка роботи двигуна на стенді без навантаження	Стенд для випробовувань	5,20

Продовження табл. 4.1.

25	Установка шестерні	Бронзові втулки, молоток	2,00
26	Перевірка електродвигуна на фрикцію	Стенд для випробовувань	3,80
27	Заповнення і наклеювання етикетки	Ручка, етикетка	1,00
28	Фарбування електродвигуна	—	7,60

Оперативний час 121,65 хв. (табл. 4.1) потрібний для виявлення і усунення несправності. При використанні стенду для автоматизованої перевірки стану електродвигунів по кривій струму, час потрібний для визначення стану електродвигуна буде складати 1-2 хв., і повністю компенсується часом $T_{пз}$ (підготовчо-заключним) 5,96 хв.

При повністю справному стані електродвигуна час $T_{оп}$ буде складати лише 1 хв., (пункт 27 табл. 4.1.) необхідну для заповнення та наклеювання етикетки. Крім цього при перевірці стану двигуна зникне потреба в часі для технічних перерв $T_{тп}$ і в часі на перерву на відпочинок та для особистих нужд [102-105] $T_{пвон}$. Відповідно з цим, формула (4.1) набуде вигляду:

$$T = T_{оп} + T_{об} + T_{пз} \quad (4.2.)$$

За (4.2), час на перевірку повністю справного двигуна складатиме:

$$T = 1,00 + 1,094 + 5,96 = 8,024 \text{ хв.}$$

Така велика економія часу в порівнянні з нормативним часом досягається за рахунок того, що при існуючій методиці перевірки та ремонту навіть повністю справний електродвигун необхідно розбирати, вимірювати мегомметром стан ізоляції статора та яко-ря, проводити виміри на обрив обмоток і коротке замикання, проводити контрольні випробування, промивку, змазку та заміну підшипників, і т.д. При використанні системи діагностування по кривим часової залежності струму, проводимо перевірку без розбирання двигуна. Розглянута нами ситуація повністю справного двигуна не є рідкістю, так як двигуни на перевірку в ремонтно-технологічні дільниці поступають не при їх відмовах, а через задану норму часу експлуатації при планових перевірках (для різних стрілок вона може бути від одного кварталу, до одного разу на три роки). І тому багато двигунів які потрапляють в ремонтно-технологічній дільниці є повністю справними.

У випадку, коли у двигун не справний, час на перевірку та ремонт все рівно значно скорочується, так як за допомогою пристрою контролю двигуна по кривій струму визначається які саме несправності є в двигуні. Це дає змогу не проводити перевірку всіх частин двигуна, а зайнятись усуненням тільки наявних несправностей. Наприклад при наявності в двигуні розбитого підшипника при справності всіх інших частин двигуна, система визначить цю несправність і електромеханіку необхідно буде виконати лише пункти 1, 2, 3, 13, 21, 22, 23, 25 табл.4.1., і відповідно час $T_{оп}$ буде дорівнювати 21,8 хв. і за формулою (4.2.) отримано час на ремонт і перевірку двигуна з заданим дефектом:

$$T = 21,8 + 1,094 + 5,96 + 8,637 = 37,491 \text{ хв.}$$

Стає зрозумілим, що час необхідний для усунення несправності приблизно в 3,7 рази менший, в порівнянні з нормою для існуючої технології. При різних дефектах економія часу буде звичайно різна [106-108].

4.7. Висновки до четвертого розділу

1. Використання системи контролю стану двигунів по кривим протікання струму через стрілочний двигун в ремонтно-технологічній дільниці дасть можливість суттєво зменшити час перевірки та ремонту двигунів, тим самим значно підвищити продуктивність праці.

2. При використанні системи діагностики та контролю стрілочних переводів по кривій протікання струму через стрілочний двигун на станціях дистанції, заміну електродвигунів на запасні можна буде проводити при прогнозуванні виникнення відмов, а не через заданий проміжок часу. Це дасть можливість не привозити на перевірку в ремонтно-технічну дільницю двигуни без несправностей, а також запобігати затримкам в русі потягів в зв'язку з відмовою двигуна в приводі стрілки.

3. Розроблений дослідний зразок автоматичного апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів стрілочних переводів без виключення з експлуатації, розглянута можливість використання системи технічної діагностики станційних пристроїв в якості порадики для електромеханіка, з алгоритмом її роботи та графом пошуку відмов в стрілочному переводі, розроблений дослідний зразок стенду для перевірки двигунів в ремонтно-технологічній дільниці.

5. ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСУ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

5.1. Обґрунтування впровадження автоматизованого комплексу в ремонтно-технологічній дільниці дистанції

При розгляді економічної доцільності впровадження комплексу контролю та діагностування стрілочних переводів, необхідно враховувати той факт, що економічні розрахунки необхідно проводити окремо для використання комплексу в ремонтно-технологічній дільниці дистанції, та на станції при використанні системи електричної централізації [109-111].

Питання про доцільність впровадження нової техніки на залізничному транспорті вирішується на основі розрахунку економічного ефекту, обумовленого на річний обсяг робіт, виконуваних за допомогою даної техніки. Оцінка економічної доцільності проводиться по трьох показниках:

- експлуатаційні витрати за рік,
- річний економічний ефект,
- строк окупності.

Вихідними даними для розрахунку капітальних вкладень і експлуатаційних витрат служать конструктивні параметри та експлуатаційні показники порівнюваних варіантів техніки. Для порівняння застосовується стенд, який використовується у ремонтно-технологічній дільниці та який виконує функції по перевірці стану стрілочних двигунів. У цей час всі основні роботи з перевірки та ремонту стрілочних двигунів зосереджені в ремонтно-технологічній дільниці дистанції і на постах електричної централізації перевірки не проводяться. Там відбувається планова заміна двигунів та відправка їх на перевірку. Норми часу на перевірку та профілактику стрілочного двигуна МСП-0,25, МСП-0,15, МСП-0,1 та ДП-0,18 з використанням стенду становлять 137,341 хвилин, а на ремонт двигуна з перемоткою якоря або статора 3-4 години. Час 137,341 складається з часу на перевірку стану стрілочного двигуна, та на профілактичне обслуговування. Час на перевірку двигуна складає 15,4 хвилини, 106,25 складає час на профілактику, та 15,69 хвилин на інші потреби. Використання пропонованого стенду для автоматизації виміру параметрів і характеристик двигунів

дозволяє вимірювати весь комплекс параметрів двигуна за значно менший час. Максимальний час виміру характеристик двигуна автоматизованим стендом:

- встановлення двигуна на стенд – 1 хвилина;
- вмикання двигуна на стенді при обертанні в один бік з фіксацією кривої струму та частоти обертання – 1 хвилина;
- вмикання двигуна на стенді при обертанні в інший бік з фіксацією кривої струму та частоти обертання – 1 хвилина;
- вимірювання опору статора та якоря стрілочного двигуна – 10 секунд;
- виведення на екран результатів перевірки з опрацюванням їх електромеханіком 50 секунд.
- знімання двигуна зі стенду і запис результатів в електронний журнал – 1 хвилина.
- заповнення бірки на двигуні – 1 хвилина.

При цьому при використанні даного комплексу і при повністю справному двигуні час на профілактичний огляд не потрібний, тобто весь час перевірки складатиме 6 хвилин. Основна кількість двигунів які поступають в ремонтно-технологічній дільниці мають не значні відхилення від норми, і при використанні стенду немає необхідності в усіх профілактичних процедурах. В середньому час на профілактику скорочується до 58,45 хвилин, за рахунок того, що проводяться не всі профілактичні процедури. Норма часу на ремонт двигунів також зменшиться до 40-60 хвилин. При перевірці в ремонтно-технологічній дільниці великої кількості двигунів – 800 штук, у рік, загальний час, затрачуваний на перевірку за рік, скоротиться в з 1831 до 859 годин.

Максимальна потужність споживання струму вимірювальним комплексом, призначеним для автоматизації виміру параметрів і характеристик двигунів, становить:

- блок живлення двигуна (ЛАТР з випрямлячами) 250 Вт;
- системний блок комп'ютера IBM PC - 100 Вт;
- монітор комп'ютера - 100 Вт.
- аналогово – цифровий перетворювач, електронний тахометр та електронний мегомметр – 10 Вт.

Порівняльний аналіз характеристик стендів, наведений у таблиці 5.1.

Порівняльний аналіз стенду по перевірці стану електродвигунів і автоматизований стенд для перевірки двигунів в ремонтно-технологічній дільниці по кривій протікання струму через стрілочний двигун.

Таблиця 5.1

Порівняльний аналіз характеристик стендів

Характеристика стенду	Існуючий стенд для перевірки стану двигунів	Автоматизований стенд для перевірки двигунів.
Час перевірки одного двигуна, хв.	137,341	64,45
Час ремонту одного двигуна, хв.	180-240	40-60
Потужність енергоспоживання, Вт	250	460
Вартість стенду, грн.	6200	4150

5.2. Характеристики існуючих пристроїв і стенду який впроваджується, та визначення їх вартості

Залізничний транспорт України здобуває техніку, що випускається промисловістю, за оптовими цінами. Тому собівартість виробництва нової техніки визначається агрегатним методом, при якому підсумовуються ціни окремих конструктивних блоків виробу, а також витрати на збірку та монтаж пристрою. Автоматизований вимірювальний комплекс конструктивно складається з персонального комп'ютера, аналогово-цифрового перетворювача, електронного мегомметра, електронного тахометра, редуктора, джерела живлення, випрямлювача та дільника напруги. Вартість кожного блоку містить у собі вартість комплектуючих виробів, пайку й тестування.

Розрахунок капіталовкладень на впровадження стенду для виміру параметрів стрілочних двигунів наведений у таблиці 5.2.

Вартість стенду та іншої апаратури яка всувається при впровадженні автоматизованого комплексу з урахуванням того що при використанні автоматизованого стенду в ремонтно-технологічній дільниці не потрібно використовувати пристрій для вимірювання омичного опору обмотки якоря, пристрій для визначення міжвиткових замикань в обмотці якоря за допомогою реактора РОБС, стенд для перевірки стану електродвигунів

після профілактики, вимірювальні прилади вольтметр, амперметр, мегомметр та тахометр. В сумі вартість апаратури яка усувається при встановленні автоматизованого стенду контролю та діагностування складає 6200 гривень.

Таблиця 5.2

Розрахунок капіталовкладень

Найменування статті витрати	Вартість, грн.
Персональний комп'ютер	2500
аналогово-цифровий перетворювач	500
Електронний мегомметр	40
Електронний тахометр	60
редуктор	400
Джерело живлення	600
Випрямляч	40
Дільник напруги	10
Загальна сума	4150

5.3. Визначення експлуатаційних витрат на автоматизований вимірювальний комплекс

Експлуатаційні витрати визначаються по статтях витрат, що створюють безпосередній вплив на економічні результати роботи залізничного транспорту України. Експлуатаційні витрати містять у собі витрати по утриманню штату, витрати на матеріали, запасні частини й електроенергію, а також відрахування на амортизацію. Експлуатаційні витрати на перевірку стрілочних двигунів визначаються по формулі:

$$З = З_{\text{Поф}} + З_{\text{Пдф}} + З_{\text{мат}} + З_{\text{е}} + З_{\text{а}}, \quad (5.1)$$

де:

$З_{\text{Поф}}$ – основний фонд заробітної плати;

$З_{\text{Пдф}}$ – соціальні нарахування на основний фонд заробітної плати;

$З_{\text{мат}}$ – витрати на матеріали й запасні частини;

$З_{\text{е}}$ – витрати на електроенергію;

$З_{\text{а}}$ – амортизаційні нарахування.

Основний фонд заробітної плати визначається по формулі:

$$ЗПоф = Тп \cdot Зст, \quad (5.2)$$

де:

$Tп$ - час, затрачений у ремонтно-технологічній дільниці на перевірку стрілочних двигунів в рік (1831 для існуючої технології, 859 для автоматизованого комплексу) годин;

$Зст$ - ставка електромеханіка – 10,2 грн/година (з розрахунку ставки електромеханіка 1700 грн. за 167 годин роботи).

Основний фонд заробітної плати дорівнює:

$$ЗПоф = 1831 \cdot 10,2 = 18676,2 \text{ грн.},$$

$$ЗПоф = 859 \cdot 10,2 = 8761,8 \text{ грн.}$$

Нарахування на заробітну плату - $к \cdot ЗПоф$, де $к=0,38$:

для існуючих пристроїв – 7096,96 грн.

для автоматизованого комплексу 3329,18 грн.

Витрати на матеріали й запасні частини.

Вартість автоматизованого стенду 4150 грн.

2% від 4150 грн. - витрати на матеріали та запасні частини.

$$4150 \cdot 0,02 = 83 \text{ грн. - для автоматизованого стенду.}$$

Вартість існуючих пристроїв 6200 грн.

2% від 6200 грн. - витрати на матеріали та запасні частини.

$$6200 \cdot 0,02 = 124 \text{ грн. - для існуючих пристроїв.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат на перевірку двигунів в ремонтно-технологічній дільниці приведена в таблиці 5.3

Таблиця 5.3

Стаття витрат	Існуючі пристрої для перевірки двигунів	Автоматизований стенд
Основний фонд заробітної плати на перевірку двигунів, грн.	18676,2	8761,8
Нарахування на заробітну плату, грн.	7096,96	3329,18
Витрати на матеріали й запасні частини, грн.	124	83
Витрати на електроенергію, грн.	109,86	94,8
Амортизаційні відрахування, грн.	310	207,5
Експлуатаційні витрати, грн/рік	26315,86	12476,28

Розрахунок експлуатаційних витрат

Нарахування на основний фонд заробітної плати становить 37,83% від заробітної плати основного фонду (32% – пенсійний збір, 2,9% – соціальне страхування, 1,9% – відрахування до фонду безробіття, страхування нещасних випадків 1,03%).

Норми амортизаційних нарахувань визначаються на основі вартості устаткування або капітальних вкладень і складаються з відрахувань на відновлення, заміну й капітальний ремонт. Щорічні амортизаційні відрахування становлять 5% від вартості комплексу, а витрати на матеріали й запасні частини становлять 2% від вартості комплексу.

Витрати на електроенергію визначаються по формулі:

$$Z_e = T_p \cdot P_{сп} \cdot C_e, \quad (5.3)$$

де:

$P_{сп}$ – потужність, споживана стендом для перевірки стрілочних двигунів;

C_e – вартість 1 квт/години електроенергії (для дистанції сигналізації та зв'язку – 0,24 грн.)

Для автоматизованого стенда $Z_e = 859 \cdot 0,460 \cdot 0,24 = 94,8$ грн.

Для існуючих технологій $Z_e = 1831 \cdot 0,25 \cdot 0,24 = 109,86$ грн.

Амортизаційні відрахування становлять 5% від вартості стенда ($k=0,05$)

Існуючі технології: $6200 \cdot 0,05 = 310$ грн.,

Автоматизований стенд: $4150 \cdot 0,05 = 207,5$ грн.

Знайдено експлуатаційні витрати по формулі 5.1:

Для існуючих пристроїв:

$$З = 18676,2 + 7096,96 + 124 + 109,86 + 310 = 26315,86 \text{ грн.}$$

Для автоматизованого стенду:

$$З = 8761,8 + 3329,18 + 83 + 94,8 + 207,5 = 12476,28 \text{ грн.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат на перевірку двигунів в ремонтно-технологічній дільниці для існуючих і впроваджуваних пристроїв наведений у таблиці 5.3.

5. 4. Розрахунок експлуатаційних витрат на перевірку двигунів в ремонтно-технологічній дільниці

Річний економічний ефект нової техніки являє собою сумарну економію всіх видів продуктивних ресурсів (праці працівників, матеріалів і капітальних вкладень), одержану в результаті виробництва й експлуатації впроваджуваного пристрою. Річний економічний ефект від впровадження нової техніки спрямованої на автоматизацію виробництва [112,113], що забезпечує економію виробничих ресурсів визначається як різниця витрат по базовій і новій техніці:

$$E = Z_{\text{ст}} - (Z_{\text{нов}} + K \cdot E_n), \quad (5.4)$$

Де: $Z_{\text{ст}}$ - експлуатаційні витрати на перевірку двигунів для існуючих пристроїв;

$Z_{\text{нов}}$ - експлуатаційні витрати на перевірку двигунів для автоматизованого комплексу контролю та діагностування по кривій струму;

K - капітальні вкладення на впровадження автоматизованого комплексу;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E_n = 0,25$ для мікропроцесорної обчислювальної техніки).

Річний економічний ефект від впровадження автоматизованого стенду для перевірки параметрів стрілочних двигунів дорівнює:

$$E = 26315,86 - (12476,28 + 4150 \cdot 0,25) = 12802,08 \text{ грн.}$$

Строк окупності впроваджуваного автоматизованого стенда дорівнює:

$$T = \frac{Z_{\text{нов}} + K \cdot E_n}{E} = \frac{12476,28 + 4150 \cdot 0,25}{12802,08} = 1,06 \text{ років} \quad (5.5)$$

Нормативний час (T_n) окупності для обчислювальної техніки не повинно перевищувати 5 років.

5.5. Доцільність впровадження комплексу для контролю та діагностування на станції обладнаній пристроями електричної централізації

При впровадженні системи контролю та діагностування стрілочних переводів на станції виникає ряд переваг, в порівнянні з впровадженням даного комплексу в ремонтно-технологічній дільниці.

1. Комплекс контролю та діагностування стрілочних переводів з автоматизованого перетворюється в автоматичний, так як не потребує участі людини для проведення вимірювань.

2. Впровадження комплексу на станції дозволяє контролювати стан стрілочних переводів а не тільки стрілочних двигунів, тобто розширюються функції контролю, та стає більшою економія часу на перевірку стрілочних переводів.

3. При впровадженні комплексу зникає необхідність перевезення стрілочних двигунів в ремонтно-технологічній дільниці при їх справному стані, для періодичної перевірки, і перевезення тільки двигунів які відмовили.

4. При використанні такої системи значно скорочується кількість двигунів які знаходяться в резерві (приблизно на 5%).

5. Використання системи діагностування значно зменшить кількість відмов стрілочних переводів і відповідно затримок потягів по даній причині.

До недоліків такого методу можна віднести те, що впроваджу вальна система не замінює ніяку із існуючих систем, і річний економічний ефект буде не такий значний як при використанні в ремонтно-технологічній дільниці.

5.6. Висновки до п'ятого розділу

Річний економічний ефект від впровадження стенду для перевірки двигунів складає 12802 грн., та окупається за 1,06 року, ефект від впровадження комплексу для перевірки стрілочних переводів складає 13925 грн. на рік, при економії часу на технічне обслуговування стрілки 32,12%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропоновано вирішення науково-прикладної задачі підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів шляхом автоматизації контролю їх параметрів. Контроль параметрів стрілочних переводів проводиться по часовій та частотній залежності струму переводу стрілки за визначеними діагностичними ознаками.

Основні наукові результати полягають в наступному:

- проведений аналіз існуючих методів та засобів технічного обслуговування стрілочних переводів показав, що існуюча технологія обслуговування стрілочних переводів, яка базується на планово-попереджувальних контрольних заходах, з методами та вимірювальними засобами, що використовуються при цьому, морально й технічно застаріли; подальше підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів можливе за рахунок розробки та впровадження сучасних контролюючих та діагностуючих комплексів;

- визначено діагностичні ознаки для аналізу стану стрілочних переводів з електричними двигунами послідовного збудження без виключення стрілок з поїзної і маневрової роботи по часовій та частотній залежності струму переводу стрілки. По часовій залежності струму виявлені діагностичні ознаки для 10 різних відмов стрілочного переводу, а по частотній залежності струму визначено 4 ознаки відмов, що проявляються у частотному діапазоні 300-600 Гц. Запропоновано метод виявлення двох небезпечних відмов двопровідної схеми керування стрілкою;

- розроблена математична модель яка враховує електромеханічні процеси в електроприводі та механічній частині стрілочного переводу, що дозволило уточнити діагностичні ознаки відмов та виявити нові ознаки для дефектів, які складно реалізувати на практиці для отримання статистичних характеристик та параметрів. Розроблена модель стрілочного двигуна в просторі станів, приведені математичні моделі струму комутованої секції та модель комутаційної складової напруги на полюсній обмотці для уточнення діагностичних ознак по частотній характеристиці. Доведено адекватність розроблених моделей. Результати моделювання співпадають з експериментальними результатами при критерії значимості 5%;

- розроблені методи та засоби безперервного автоматичного контролю та діагностування стрілочних переводів по часовій та частотній характеристиці струму стрілочного двигуна без виключення стрілки з поїзної роботи станції, що не потребують внесення змін в схему керування стрілочним переводом та дозволяють зменшити час технічного обслуговування стрілки більш ніж на 32 %;

- розроблені методи автоматичної обробки результатів діагностування, на основі статистичного аналізу часових залежностей струму переведення стрілок визначено закон розподілу щільності ймовірностей, функції математичного очікування та середнє квадратичного відхилення струму, за якими визначено граничні функції струму переведення стрілок та проведено їх апроксимацію сплайнами. Для цього використовуються методи інтегралів та штучних нейронних мереж які базуються на порівняльному аналізі часових і частотних характеристик струму переведення стрілки з визначеними діагностичними ознаками. З урахуванням середньоквадратичного відхилення 0,040 та дисперсії 0,002 визначено коридор допустимих значень в межах 10% від величини струму переводу стрілки.

- розроблений дослідний зразок автоматичного апаратно-програмного комплексу для контролю параметрів стрілочних переводів без виключення з експлуатації, розглянута можливість використання системи технічної діагностики станційних пристроїв в якості порадики для електромеханіка, з алгоритмом її роботи, розроблений дослідний зразок стенду для перевірки двигунів в ремонтно-технологічній дільниці. Річний економічний ефект від впровадження стенду для перевірки двигунів складає 12802 грн., а ефект від впровадження комплексу для перевірки стрілочних переводів складає 13925 грн. на рік.

Впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджується відповідними актами (додаток 3).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Постанова Кабінету Міністрів України №821 від 04.08.97 „Про затвердження концепції створення й функціонування національної мережі транспортних коридорів в Україні”.
2. Аналіз стану безпеки руху поїздів на залізницях України за 12 місяців 1998-2003 року. Міністерство транспорту України. Державна адміністрація залізничного транспорту. – 1999-2004.
3. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95. –[Чинний від 1996-01-01].– К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 121 с. – (Національний стандарт України).
4. Дмитренко И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики / И. Е. Дмитренко. – М.: Транспорт, 1986.– 144с.
5. Маловічко В. В. Підвищення експлуатаційної надійності колійних пристроїв електричної централізації / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилук // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 15. – С. 11-15.
6. Сборник типовых технически обоснованных норм времени на текущий ремонт и содержание устройств электрической централизации стрелок и сигналов составлен работниками Нормативно-исследовательской станции Главного управления сигнализации и связи МПС А. П. Чекванским, П. Я. Петровым, О. Н. Розановой, Н. В. Суренским, М. Д. Адоньевым и Р. Д. Соляковой. М.: Транспорт, 1966.– 207 с.
7. Правила технічної експлуатації залізниць України. К.: Міністерство транспорту України, 2003. – 133 с.
8. Станционные системы автоматики и телемеханики / [Сапожников В. Вл., Елкин Б.Н., Кокурин И.М. и др.]; под ред. В. Вл. Сапожникова.– М.: Транспорт, 2000.– 432 с.
9. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування: ЦШ 0060. – К.: Укрзалізниця, 2009. – 111 с.
10. Пристрої сигналізації централізації та блокування. Технологія обслуговування: ЦШ 0042.– К.: Укрзалізниця, 2007. – 461 с.

11. Дмитренко И. Е. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. / Дмитренко И. Е., Сапожников В.В., Дьяков Д.В.; под ред. И.Е. Дмитренко. – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.
12. Сапожников В. В. Основы технической диагностики: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. / В. В. Сапожников, Вл. В Сапожников. – М.: Маршрут, 2004.– 318 с.
13. Безрученко В.Н. Электрические машины. / В.Н. Безрученко, А.С. Хотян – К.: Высшая школа. Главное изд-во, 1987.– 215с.
14. Данько М. І. Мікропроцесорна диспетчерська централізація „Каскад” / М. І. Данько, В. І. Мойсеєнко, В. З. Рахматов, В. І. Троценко, М. М. Чепцов: Навчальний посібник. – Харків, 2005.– 176 с.
15. Переборов А. С. Телеуправление стрелками и сигналами: Учебник для вузов железнодорожного транспорта / А. С. Переборов, А. М. Брылеев, В. Ю. Ефимов, И. М. Кокурин, Л. Ф. Кондратенко.; под редакцией А. С. Переборова. – 3-е издание, переработанное и дополненное – М.: Транспорт, 19816.– 390 с.
16. Резников Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики. / Резников Ю. М. – М.: Транспорт, 1985. – 288с.
17. Руденко А. Б. Способ дистанционной диагностики электродвигателей типа МСП. Рацпредложение №41. / Руденко А. Б. – Днепропетровск: Днепропетровская 6-я дистанция сигнализации и связи Приднепровской дороги. 1985.
18. Саидов С. А. Автоматизированная система измерения и контроля параметров электродвигателей постоянного тока стрелочных электроприводов. / Саидов С. А., Морозов О. Г., Палахов Н. А. Дорогов Н. В. // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996, №6 – с. 28-30
19. Пат. 8530 Україна МПК 7B61L7/08. Спосіб дистанційного визначення дефектів електричних складових електродвигуна постійного струму стрілкового переводу. / Парфьонов В. І., Руденко О. Б.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 24.12.2004; опубл. 15.08.2005, Бюл. № 8.

20. Пат. 8573 Україна МПК 7B61L7/08. Спосіб дистанційного діагностики стану механічної частини стрілочного переводу з електродвигуном постійного струму. / Парфьонов В. І., Руденко О. Б.; заявник та патентовласник Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – заявлено 04.01.2005; опубліковано 15.08.2005, Бюл. № 8.

21. Кравцов Ю.А. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю.А.Кравцов, В.Л.Нестеров, Г.Ф. Лекута и др.; под ред. Ю.А.Кравцова. – М.: Транспорт, 1996. – 400 с.

22. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода. / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с., ил.

23. Резников Ю. М., Стрелочные электроприводы электрической и горючей централизации. / Резников Ю. М. – М.: Транспорт, 1975. – 288 с.

24. Вожаковский А. Л. Комплексная автоматизированная система управления хозяйством сигнализации, связи и вычислительной техники. / А. Л. Вожаковский, К. О. Калужный // Автоматика, телемеханика и связь – 1995, №6 – с. 28-30.

25. Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень елементів стрілочних переводів та рейок залізниць України. – Дніпропетровськ: Арт-Пресс, 2000. – 148 с.

26. Казаков А. А. Станционные устройства автоматики и телемеханики: Учебник для техникумов / Казаков А. А., Бубнов В. Д., Казаков Е. А. – М.: Транспорт, 1990. – 431 с.

27. Сороко В. И. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России: Энциклопедия : в 2 т. Т. 1 / Сороко В. И., Кайнов В. М., Казив Г. Д. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2006. – 736с., ил.

28. Переборов А. С. Диспетчерская централизация: Учебник для вузов железнодорожного транспорта. / Переборов А. С., Дрейман О. К., Кондратенко Л. Ф.; под редакцией Вал. В. Сапожникова. – М.: Транспорт. 1989. – 303 с.

29. Сапожников Вл. В. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. / Сапожников Вл. В., Борисенко Л. И., Каменев А. И.; под редакцией Вл. Сапожникова. – М.: Издательство «Маршрут», 2003. – 336 с.

30. Герман-Галкин С. Г. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК. / С. Г. Герман-Галкин, Г. А. Кардонов – СПб.: Корона принт, 2003. – 256с., ил.
31. Моделювання електромеханічних систем: Підручник. / [Чорний О. П., Луговой А. В., Родькін Д. Й., Сисюк Г. Ю., Садовой О. В.] – Кременчук, 2001. – 410 с.
32. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин: Учебник для вузов. / Копылов И. П. – [издание 3-е, переработанное и дополненное]. – М.: Высшая школа, 2001. – 327с., ил.
33. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. / Черных И. В. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.
34. Захарченко Д. Д. Тяговые электрические машины. Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов – М.: Транспорт, 1991. 343 с.
35. Проектирование электрических машин: Учебник для втузов/ под ред. О. Д. Гольдберга. – М.: Высш. шк., 1984. – 431 с., ил.
36. Филлипс Ч. Системы управления с обратной связью. / Филлипс Ч., Харбор Р. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001 – 616 с.: ил
37. Карасев М. Ф. Коммутация в тяговых электродвигателях и других коллекторных машинах. / М. Ф. Карасев, В. Д. Авилов, В. П. Беляев и др. // Научные труды Омский институт инженеров железнодорожного транспорта. – 1974. – Том 155. – 98с
38. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. / Бессонов Л.А. – М.: Высшая школа, 1978. – 528с.
39. Буссуднов Е. П. Обнаружение мест дефектов изоляции обмоток электрических машин постоянного тока. / Буссуднов Е. П. – М.: Энергия, 1977. – 120 с.
40. Антипов В. Н. Двигатели постоянного тока в современном электроприводе / Антипов В. Н., Мартикастнен Р. П., Остинская И. В. // Электротехническая промышленность. Серия 01. Электрические машины. Обзорная информация. – Выпуск 26. – М.: Информэлектро, 1989. – 36 с.
41. Волынский Б. А. Электротехника / Б. А. Волынский, Е. Н. Зейн, В. Е. Шатерников: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 528 с.: ил.

42. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів функційна безпечність та надійність. Вимоги та методи випробувань: ДСТУ 4178-2003. –[Чинний від 2004-01-01].– К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 33 с. – (Національний стандарт України).

43. Технические средства диагностирования: Справочник [В. В. Ключев и др.] под общ. ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989 – 671 с.

44. Основы технической диагностики: [В 2-х кн./ Под ред. П. П. Пархоменко]. – М.: Энергия, 1968 – 224 с.

45. Глазунов Л.П. Основы теории надежности автоматических систем управления. / Глазунов Л.П., Грабовецкий В.П., Щербаков О.В. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1984. – 208 с.

46. Козлов Б.А. Справочник по расчету надежности. / Б.А. Козлов, И.А. Ушаков– М.: Советское радио, 1966. – 432 с.

47. Сапожников В.В. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики. / Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Талалаев В.И.– М.: Транспорт, 1997. – 288 с.

48. Надійність техніки. Терміни та визначення.: ДСТУ 2860-94. –[Чинний від 1996-01-01].– К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 33 с. – (Національний стандарт України).

49. Меньшиков Н.Я., Королев А.И., Ягудин Р.Ш. Эксплуатационная надежность элементов систем железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1971. – 120 с.

50. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності.: ДСТУ 2864-94. –[Чинний від 1996-01-01].– К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 30 с. – (Національний стандарт України).

51. Богомолов А. М. Диагностика сложных систем. / А. М. Богомолов, В. А. Твердохлебов – К.: Наукова думка, 1974 – 128 с.

52. Техническая диагностика. Труды 1-го Всесоюзного совещания по технической диагностике. Москва, 1969 (Отв. ред. д. т. н. П. П. Пархоменко, М.: Наука, 1972 – 368 с. (62-5 Т38)

53.Мозгалеvский А. В. Койда А. Н. Вопросы проектирования систем диагностирования. – Л. Энергоатомиздат, 1985 – (Б-ка по автоматике). (681.5 М74)

54.Гриненко А.В., Пресняков А.И., Варченко В.И. Основные принципы построения диспетчерской подсистемы в АПК-ДК. // Автоматика, связь, информатика. – 2000. -№9. –с.16-19.

55.Иваненко А.А. Внедрение новых систем диспетчерской централизации и диспетчерского контроля. // Автоматика, связь, информатика. – 2001. -№9. –с. 25-26.

56.Горбунов Б.Л. Аппаратные средства диспетчерского комплекса АПК-ДК. // Автоматика, связь, информатика. – 2000. -№9. –с.19-21.

57.Аверкиев С.А., Морозов С.С. Автоматизированная система диспетчерского контроля АСДК «ГТСС-СЕКТОР». // Автоматика, связь, информатика. – 2000. -№9. –с.38-41.

58.Кей С. М., Марал мл. С. Л. Современные методы спектрального анализа: Обзор. – ТИИЭР. – Т. 69. – №11. – С. 5-51.

59. Марпл мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его применения. – М.: Мир, 1990. – 584 с.

60.Маловічко В.В., Гаврилюк В.І. Автоматизований контроль основних параметрів стрілочного електропривода. // Вісник Дііту, 2007, вип. 17. с. 5-7.

61.Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

62.ЦШ 0022, Інструкція з утримання технічної документації на пристрої сигналізації, централізації та блокуваннях на залізницях України – К.: Укрзалізниця, 2001. – 41 с.

63.Маловічко В. В. Визначення діагностичних ознак для автоматизованого контролю технічного стану стрілочних електродвигунів / В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк, В. Я. Кізяков // Вісник Дніпропетровського національного університету імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 16. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007.

64.В. В. Маловічко, В. І. Гаврилюк. Діагностування стану стрілочних переводів по споживанню струму електродвигунами безпосередньо в умовах поїзної роботи //

Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Вип. 1. – Х.: Вид-во Української державної академії залізничного транспорту, 2008.

65. В. В. Маловічко. Автоматизований контроль технічного стану стрілочних електродвигунів постійного струму по кривим споживання струму / Маловічко В. В., Гаврилюк В. І. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Вип. 5, 6. – Харків: Вид-во Української державної академії залізничного транспорту, 2007.

66. В. В. Маловічко. Діагностування стрілочних переводів по кривим споживання струму в умовах експлуатації на станції // Збірник наукових праць. – № 11. – Донецьк: Видавництво Донецького інституту залізничного транспорту, 2007.

67. Спосіб дистанційного контролю та діагностування стрілочних переводів з двигуном постійного струму. Патент на корисну модель № 31735 України B61L 7/00. Маловічко В. В., Гаврилюк В. І. Заявлено 29. 10. 2007; Опубліковано 25. 04. 2008, Бюлетень №8.

68. Дмитриев А. К. Распознавание отказов в системах электроавтоматики. – Л.: Энергоиздат, 1983 – 104 с. (681.5 Д53)

69. Местецкий Л. М. Математические методы распознавания образов: курс лекций. М.: МГУ ВМиК, 2004.

70. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. – М.: Наука, 1987.

71. В. В. Маловічко. Автоматизація обробки інформації в системах контролю та діагностування стану стрілочних переводів. / Маловічко В. В., Гаврилюк В. І., Рибалка Р. В. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Вип. 2. – Харків: Вид-во Української державної академії залізничного транспорту, 2009.

72. Boashash B. Time Frequency Signal Analysis and Processing / Boashash B. – Oxford. : Elsevier Ltd, 2003. – 743p.

73. Smith W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. Second Edition / Steven W. Smith – San Diego, CA : California Technical Publishing, 1999. – 650 с.

74. Stranneby D. Digital Signal Processing: DSP and Application / Stranneby D. – Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 2001. – 230 с.

75. Vaseghi Saeed V. Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction, second edition / Saeed V. Vaseghi. – Chicester, West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd, 2000. – 473 с.

76. Спосіб автоматизованого контролю та діагностування стрілочних переводів. Патент на корисну модель № 50826 України B61L7/00. Маловічко В. В., Гаврилюк В. І., Рибалка Р.В. Заявлено 22.12.2009; Опубліковано 25.06.2010, Бюлетень №12.

77. Гаврилюк В.І. Застосування нейромережних технологій для діагностування стрілочних переводів з двигунами постійного струму. / Гаврилюк В. І., Дуб В.Ю., Маловічко В. В. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 31. – С. 209-213.

78. Барских А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.

79. Anil K. Jain, Jianchang Mao, K. M. Mohiuddin. o Artificial Neural Networks: A Tutorial, Computer, Vol. 29, No. 3, March/1996, pp 31-44.

80. Bebis G. Optimal feed-forward neural network architectures / G. Bebis, M. Georgiopoulos. – Orlando, FL 32816 USA. : Department of Electrical & Computer Engineering, 1994.

81. Новиков Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов: Учебное пособие. Санкт-Петербург. 1999.

82. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

83. Перникис Б.Д., Ягудин Р.Ш. Поиск и устранение неисправностей в устройствах СЦБ – М.: “Транспорт”, 1977. 160 с.

84. Пархоменко П. П., Согомонян Е. С. Основы технической диагностики. (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / Под ред. П. П. Пархоменко – М.: Энергоатомиздат, 1981 – 319с. (681.5 П18)

85. Казначеев В. И. Диагностика неисправностей цифровых автоматов. М.: Советское радио, 1975 – 256 с. (681.5 К14)

86. Пархоменко П. П. О технической диагностике. М.: Знание, 1969 – 64с.
87. Карибский В. В. и др. Техническая диагностика объектов контроля. (Методы анализа непрерывных и дискретных объектов). – М.: Энергия, 1967 (681.5 К23)
88. Сапожников В.В., Кравцов Ю.А., Сапожников Вл.В. Дискретные устройства железнодорожной автоматики телемеханики и связи. – М.: Транспорт, 1988. – 254с.
89. Дмитренко И.Е., Пак А.К., Пунчак А.В., Тихая Т.Я. Микропроцессорная система технической диагностики устройств СЦБ // Автоматика, телемеханика и связь. -1998. -№10. –с.11-13.
90. Терентьев В.Л. Комплекс перегонных и станционных технических средств.// Автоматика, связь, информатика. – 2000. -№9. –с.41-43..
91. Павлов Б. В. Кибернетические методы технического диагноза.– М.: Машиностроение, 1966 – 151 с. (681.5 П12)
92. В. В. Сапожников. Дискретные автоматы с обнаружением отказов.- Л.: Энергоатомиздат, 1984
93. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145с. – Офіційне видання.
94. Лисченков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов: Учебник для вузов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. –332 с., ил.
95. Виноградов В. В., Кустышев С. Е., Прокофьев В. А. Линии железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебник для вузов железнодорожного транспорта. – М.: Издательство «Маршрут», 2002. – 416 с.
96. Дмитренко И. Е., Устинский А. А., Цыганков В. И. Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте. 3-е издание перераб. и доп. Учебник для вузов железнодорожного транспорта. М.: Транспорт, 1982.– 312 с.
97. Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Шаманов В. И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. / Под редакцией Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003.– 263 с.

98. А. Н. Горбань. Обобщенная аппроксимационная теорема и вычислительные возможности нейронных сетей. // Сибирский журнал вычислительной математики, 1998. Т. 1., №1. С. 12-24.

99. Перникис Б.Д., Ягудин Р.Ш. Поиск и устранение неисправностей в устройствах СЦБ. – 2-е издание, переработанное и дополненное –М.: “Транспорт”, 1994. – 254 с.

100. Граф Ш., Гессель М. Схемы поиска неисправностей / Пер. с нем. Л. Г. Флейшмана. Под ред. Поспелова.– М.: Энергоатомиздат, 1989 – 143 с. (681.5 Г78)

101. Абрамов О. В., Розембаум А. Н. Прогнозирование состояния технических систем. – М.: Наука. 1990.

102. Маловічко В.В., Гаврилюк В.І., Решетняк М.І. Використання системи контролю стану стрілочних двигунів по кривій споживання струму в ремонтно-технічних дільницях. // Вісник Дііту, 2008, вип. 18. с. 11-15.

103. ЦШ 0046, Типовий проект організації роботи ремонтно-технологічної дільниці дистанції сигналізації та зв'язку на залізницях України – К.: Укрзалізниця, 2006. – 31 с.

104. Меньшиков Н.Я., Королев А.И., Ягудин Р.Ш. Надежность железнодорожных систем автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1976.

105. Кулик А. С. Оценка диагностируемости линейных динамических систем. // Автоматика, телемеханика и связь, 1992, №1 – с. 184-187.

106. Чепурнов М. Н. Метод оценки технического состояния объектов автоматики. // Залізничний транспорт України. – 2000, №5 – с. 86.

107. Иванов В. В. Внедрение средств вычислительной техники и подразделениях хозяйства СЦБ. // Автоматика, телемеханика и связь – 1993, №5 – с. 35-39.

108. Асепко А. А. Анализ функциональных возможностей АРМ дистанции сигнализации и связи. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2000, №5 – с. 84-90.

109. Балько А. Г. Некоторые вопросы эксплуатации стрелочных электродвигателей. // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996, №6 – с. 28-30

110.ЦШЕОТ 0018, Інструкція з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні робіт з технічного обслуговування та ремонту пристроїв сигналізації, централізації та блокуваннях – К.: Укрзалізниця, 1999. – 72 с.

111.ЦД 0032 Практичні рекомендації з проведення комісійних місячних окладів П69 колій, стрілочних переводів, пристроїв СЦБ та зв'язку, контактної мережі на станціях залізниць України / Розробники: О. Ф. Вергун та інші. – К.: Транспорт України, 2000. – 72 с., ил.

112.ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов: основні положення. – К.: Держстандарт України, 1996.

113.ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів системи керування та регулювання руху поїздів. Функціональна безпека і надійність: Вимоги на методи випробування. – К.: Держстандарт України, 2003.

Додаток А

А.1. Математична модель струму комутованої секції

Як показала практика, найбільшу інформацію про якість комутації несе залежність $i(t)$ струму комутованої секції від часу. Безпосереднє спостереження процесу $i(t)$ без препарування двигуна можливе, проте для такого спостереження доступні інші процеси, пов'язані з $i(t)$, наприклад, напруга, що наводиться цим струмом в полюсних обмотках. Тому побудова компактної і достатньо адекватної моделі залежності $i(t)$ представляє істотний інтерес.

Розглянуто традиційну плоску розгортку якоря (рис А.1.), якір рухається щодо нерухомих полюсів справа наліво. При цьому можна вважати також, що величина розподілу колектора рівна ширині щітки.

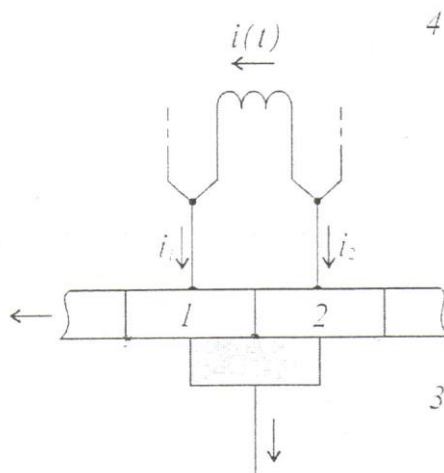


Рис. А.1. Плоска розгортка якоря електричної машини:

1,2 - пластини колектора;

3 - щітка;

4 - секція обмотки якоря.

Позначивши як L_c індуктивність секції, як R_c - активний опір секції, як R_1 і R_2 - опір перехідних контактів пластин колекторів 1 і 2 з елементами конструкції (у тому числі з щіткою), як e_k - комутуючу ЕДС секції, як $2I_a$ - струм якоря, і як T - період комутації.

Тоді диференціальне рівняння, що описує замкнутий електричний контур, зображений на рис.А.1, має вигляд

$$L_c \frac{d_i}{d_t} + i_1 R_1 - i_2 R_2 + i R_c + e_k = 0. \quad (\text{А.1.1})$$

Відоме його рішення, отримане в рамках теорії постійності опору щіткового контакту $R_{щ}=const$. Відповідно до цього рішення струм комутованої секції є сумою двох складових - струму i_n прямолінійної комутації і деякого додаткового струму i_g . При цьому

$$i_n = I_a \left(1 - 2 \frac{t}{T}\right), \quad (\text{A.1.2})$$

а часова залежність складової i_g описується вельми громіздким виразом, інженерна інтерпретація якого проблематична. В той же час саме ця складова визначає характер комутації (прискорена або сповільнена) і числові характеристики величини відхилення комутації від прямолінійної. Тому побудова математичної моделі цієї складової істотно важливо.

Таким чином, компактна математична модель часової залежності струму комутованої секції має наступний вигляд:

$$i(t) = i_n(t) + i_g(t) = \begin{cases} I_a \left(1 - 2 \frac{t}{T}\right) + I_{me} \cdot e^{\alpha} \cdot e^t \cdot \sin(\varpi_{0e} t + 0.5 \beta_e t^2 + \pi), \\ 0 \leq t \leq T; \\ 0, \text{ при других значеннях } t. \end{cases} \quad (\text{A.1.3})$$

Комутація однієї секції приводить до формування імпульсу струму, а обертання якоря з постійною швидкістю обумовлює періодичність таких імпульсів.

A.2. Математична модель комутаційної складової напруги полюсної обмотки

Перш за все, необхідно визначити взаємну індуктивність секції обмотки якоря і полюсної обмотки. Оскільки ширина секції якоря типового електродвигуна постійного струму дещо менше полюсного розподілу, то можна приблизно покласти, що при русі під полюсним наконечником протягом періоду комутації T розподілу колектора ця секція рухається в області постійної густини ліній індукції магнітного поля, тобто протягом переважної частини полюсного розподілу загальна частина потокощеплення обмотки збудження і секції, що розглядається, обмотки якоря (тобто потокощеплення взаємної індукції) не залежить від просторового положення останньої (рис. A.2.).

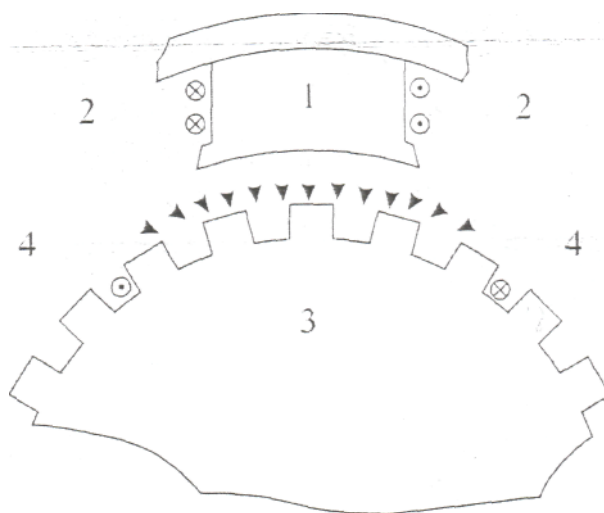


Рис. А.2. Просторове розташування обмотки якоря:

- 1 - полюс; 3- якір (фрагмент зображення);
 2 - полюсна обмотка; 4 - секція обмотки якоря.

Тоді потокоццеплення взаємної індукції є

$$\Psi = W_c B S_c \quad (\text{A.2.1})$$

де S_c - площа одного витка секції обмотки якоря;

W_c - кількість витків в цій секції;

B - індукція поля полюсної обмотки, обумовлена протіканням по цій обмотці струму i_{nl} .

З іншого боку, при будь-якій величині i_{nl} струму полюсної обмотки справедливий запис

$$\Psi = M \cdot i_{nl}, \quad (\text{A.2.2})$$

де M - взаємна індуктивність полюсної обмотки і секції якоря. З (A.2.1) і (A.2.2) одержуємо, що

$$M = \frac{W_c B S_c}{i_{nl}} \quad (\text{A.2.3})$$

при будь-якому просторовому положенні секції під полюсним наконечником в межах половини кроку секції (він рівний розподілу колектора) від положення симетрії, поблизу якого і відбувається комутація.

З урахуванням вищеприведеного знайдено напругу, що наводиться в полюсній обмотці струмом комутуваної секції:

$$u_m(t) = M \frac{di}{dt} = \begin{cases} -2I_a M \frac{1}{T} + MI_{me} \alpha_e e^\alpha e^t \cdot \sin(\omega_{0e} t + 0.5\beta_e t^2 + \pi) + \\ + MI_{me} e^\alpha e^t (\omega_{0e} + \beta_e t) \cdot \cos(\omega_{0e} t + 0.5\beta_e t^2 + \pi), \\ 0 \leq t \leq T; \\ 0, \text{ при других значениях } t. \end{cases} \quad (\text{A.2.4})$$

Ця напруга, як і струм комутації, є періодичною імпульсною з періодом, рівним періоду обертання якоря .

Вираз (A.2.4) є математичною моделлю комутаційної складової напруги на полюсній обмотці без урахування перешкод. Параметри процесу $u_m(t)$ є одночасно і параметрами моделі досліджуваного струму комутації .

З вище сказаного можна зробити висновок, що під час комутації пошкодженої ламелі в двигуні постійного струму, будуть спостерігатись періодичні сплески струму комутації, коли пошкоджена ламель буде проходити під полюсним наконечником.

Додаток Б

Результати моделювання стрілочного переводу
в системі MATLAB+Simulink при різних навантаженнях.

Якщо, навантаження несе логарифмічний характер і може бути описане функцією $y = \ln(x)$ (рис. Б.1.), то реакція моделі буде такою, як зображено на (рис. Б.2.).

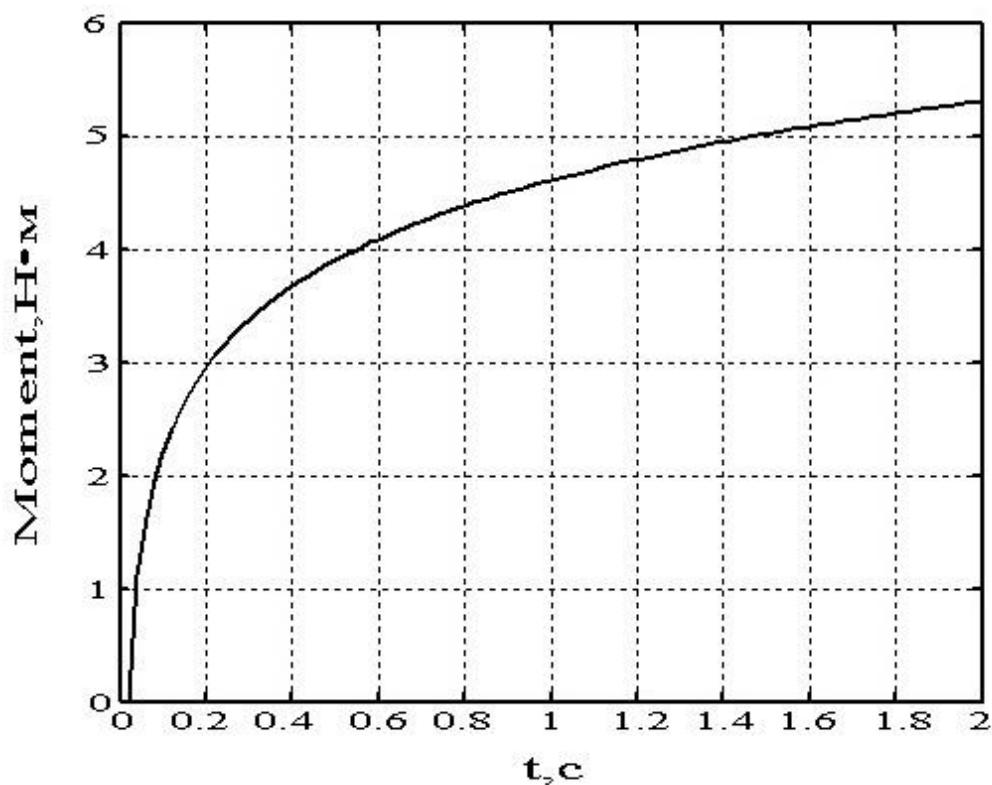
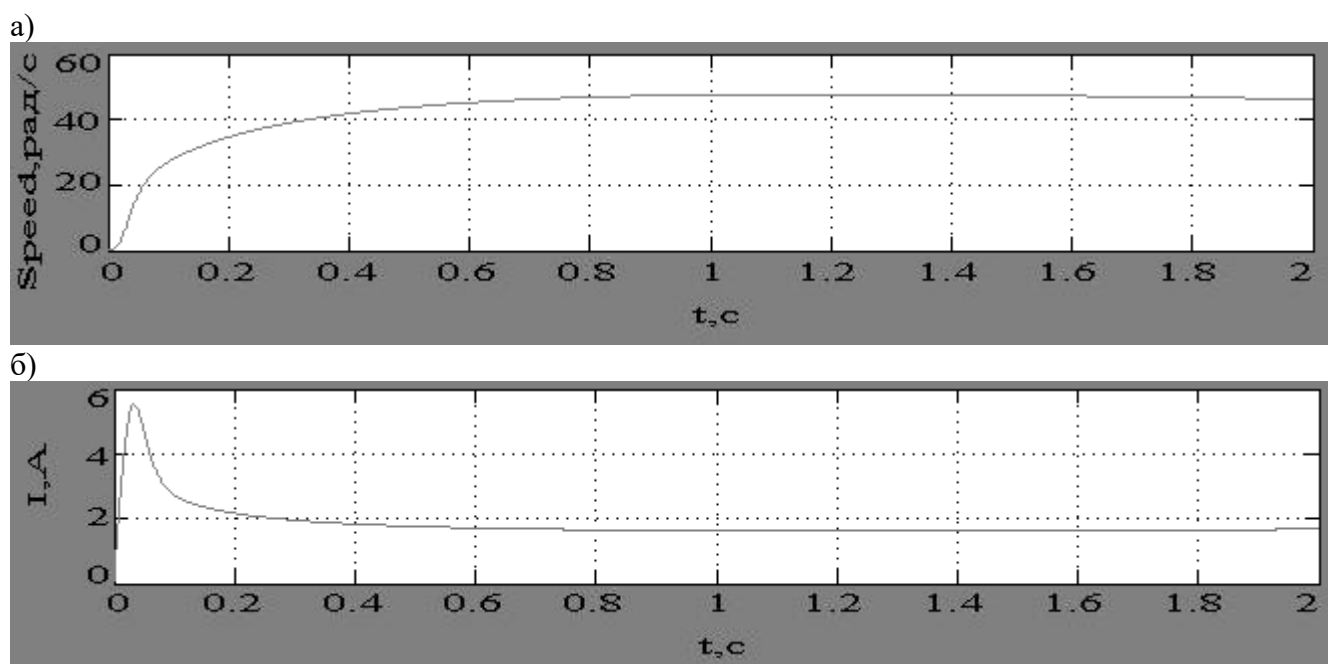


Рис. Б.1. Характер навантаження на валу двигуна у вигляді логарифмічної функції



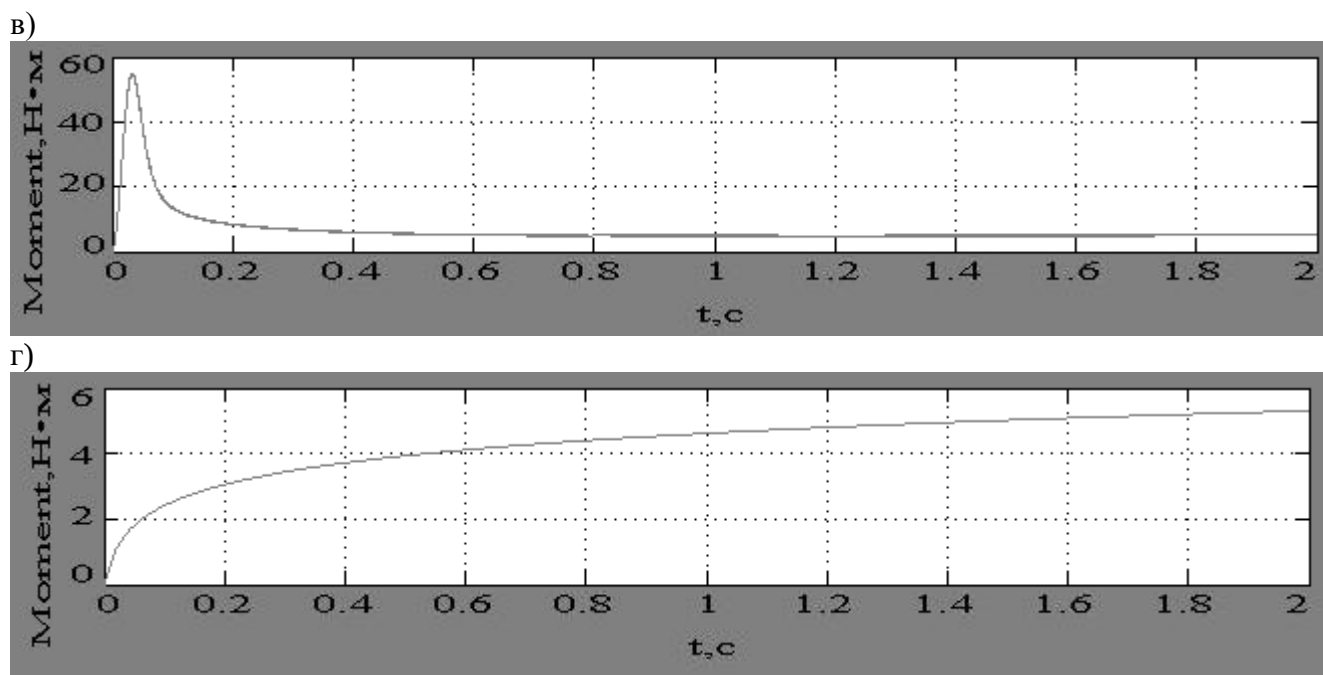


Рис. Б.2. Часові залежності при навантаженні у вигляді логарифмічної функції:
 а – швидкості обертання валу двигуна; б – струму в обмотках збудження та якоря; в – моменту на валу двигуна; г – моменту опору руху валу.

Судячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що швидкість обертання валу двигуна обернено пропорційна моменту (рис. Б.2. а). Наступна осцилограма являє собою часову залежність зміни струму від моменту на валу. Оскільки обмотки з'єднані послідовно, то і струм в них протікає однаковий, тобто $I = I_a = I_f$. Під час пуску двигуна спостерігається зростання струму, яке в кілька разів перевищує робочий струм. Це забезпечує великий пусковий момент, який наведено на третій часовій залежності (рис. Б.2. з).

На підставі приведених вище осцилограм можна дійти висновку, що робочі характеристики моделі при даному виді навантаження відповідають характеристикам двигунів постійного струму з послідовним збудженням. З'ясовано тепер як веде себе модель при навантаженнях, що задаються значеннями, які підкорюються іншим законам розподілу.

Придавши навантаженню характер експоненціальної функції виду $f(x) = e^x$ (рис. Б. 3), реакція моделі має форму, зображену на рис. Б.4.

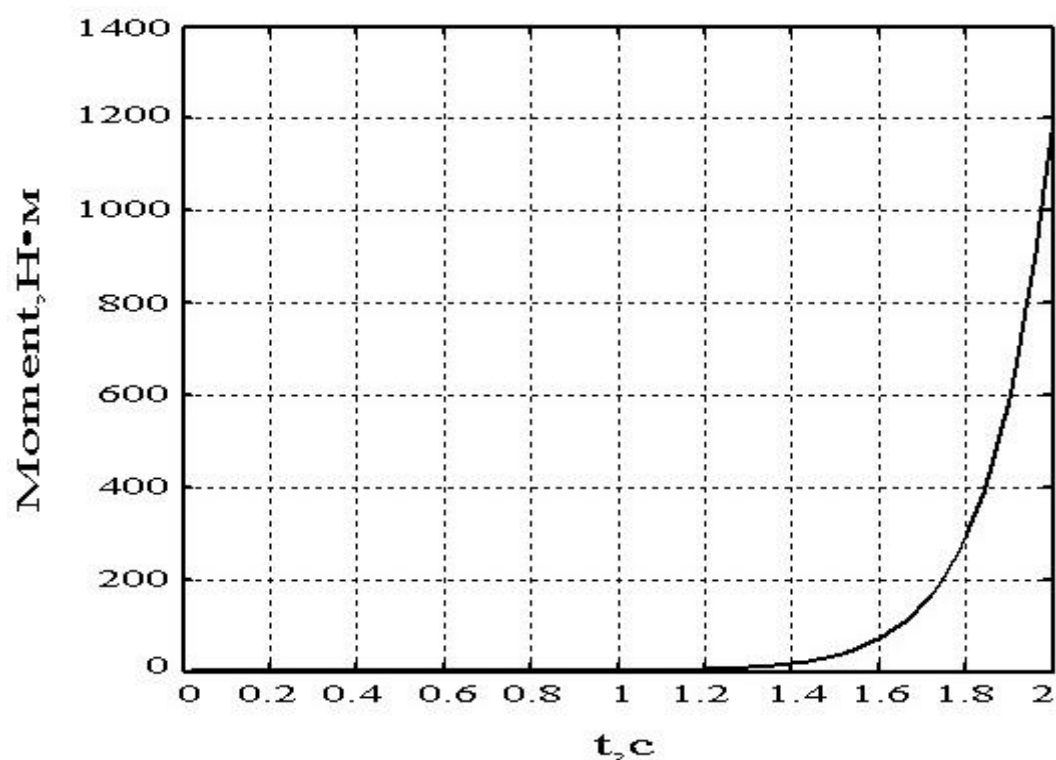
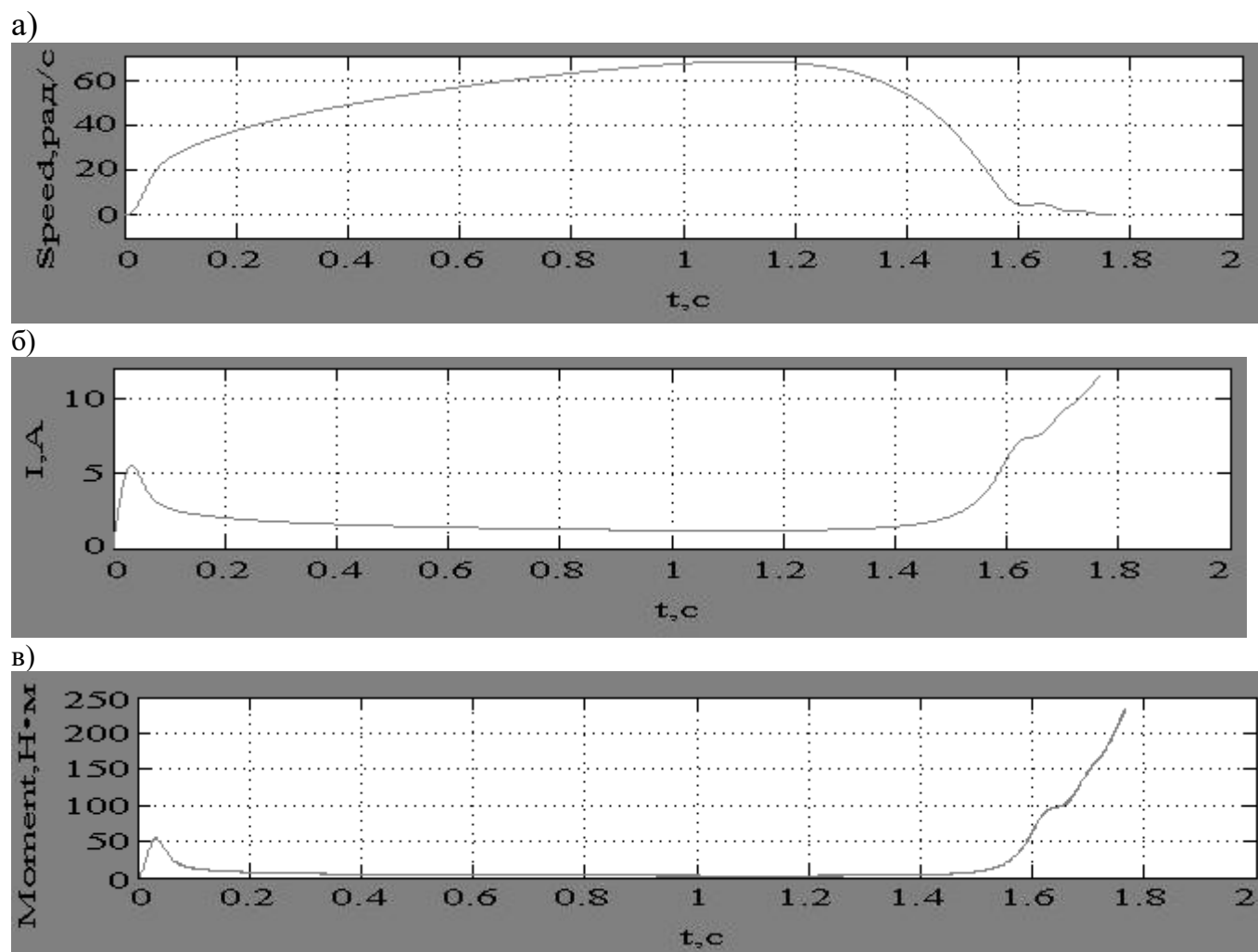


Рис. Б.3. Характер навантаження на валу двигуна у вигляді експоненціальної функції.



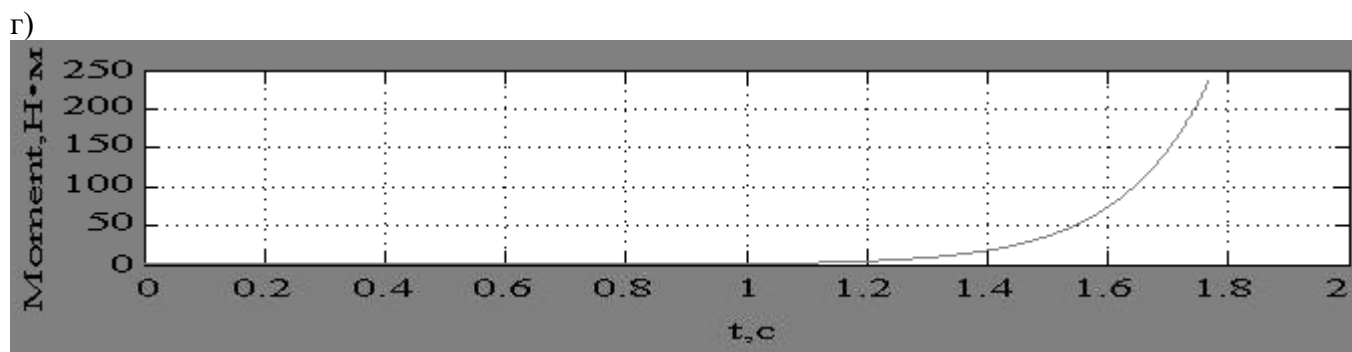


Рис. Б.4. Часові залежності при навантаженні у вигляді експоненціальної функції:
а – швидкості обертання валу двигуна; *б* – струму в обмотках збудження та якоря; *в* – моменту на валу двигуна; *г* – моменту опору руху валу.

При даному виді навантаження на основі отриманих осцилограм (рис. Б.4.) можна зробити висновки, що реакцією моделі на зростання моменту на валу двигуна є пропорційне зростання струму в обмотках двигуна (рис. Б.4. *б*) і, як наслідок, збільшення моменту на валу двигуна (рис. Б.4. *в*), та відповідно зменшення числа обертів вала (рис. Б.4. *а*).

Як і в попередньому досліді, струм в обмотках та момент на валу під час пуску двигуна також мають значення, які в декілька разів перевищують робочі. Це свідчить про адекватну поведінку моделі при завданні моменту опору руху валу двигуна у вигляді навантаження, що підкорюється експоненціальному закону. Отже результати обох дослідів, в яких навантаження носило різний характер, співпадають.

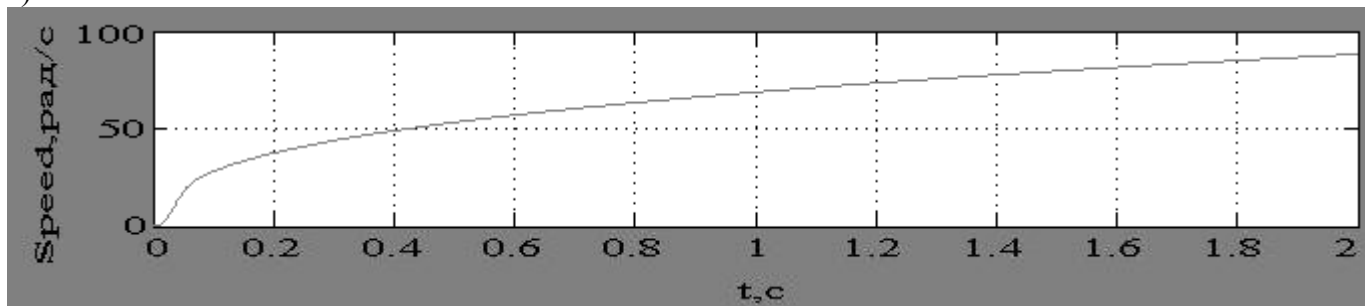
Особливістю двигунів постійного струму з послідовним збудженням є те, що їх не можна вмикати без навантаження, тому що швидкість обертання валу збільшується настільки, що досягає неприпустимо великих значень і стає причиною виходу з ладу двигуна, який фактично йде в рознос. Перевіряємо можливість цього процесу на даній моделі.

Отже при роботі моделі в режимі холостого ходу часові залежності параметрів будуть такими, як показано на рис. Б.5.

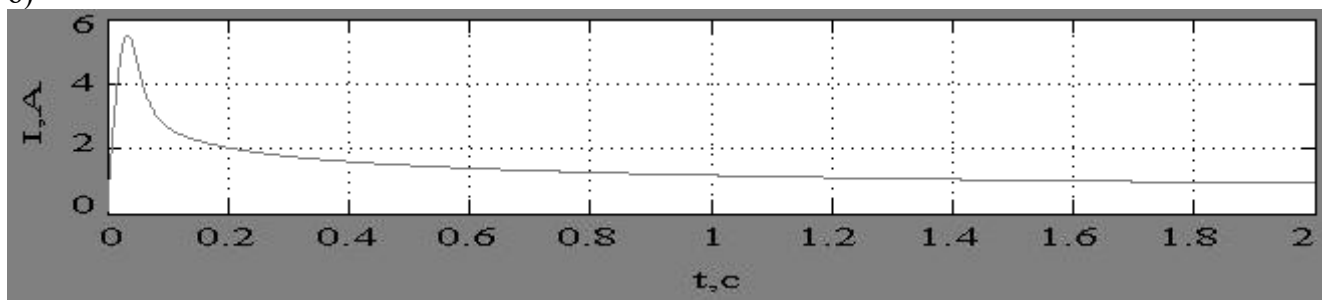
З осцилограм можна встановити, що швидкість обертання вала двигуна поступово і неухильно збільшується і за 2 с не досягає свого максимального значення, що в дійсності призводить до руйнування двигуна. При цьому момент на валу майже відсутній, а струм в обмотках стає дедалі меншим. На основі цих спостережень про

відповідність моделі її реальним аналогам, можна дійти висновку, що параметри даної моделі відповідають реальним і в режимі холостого ходу

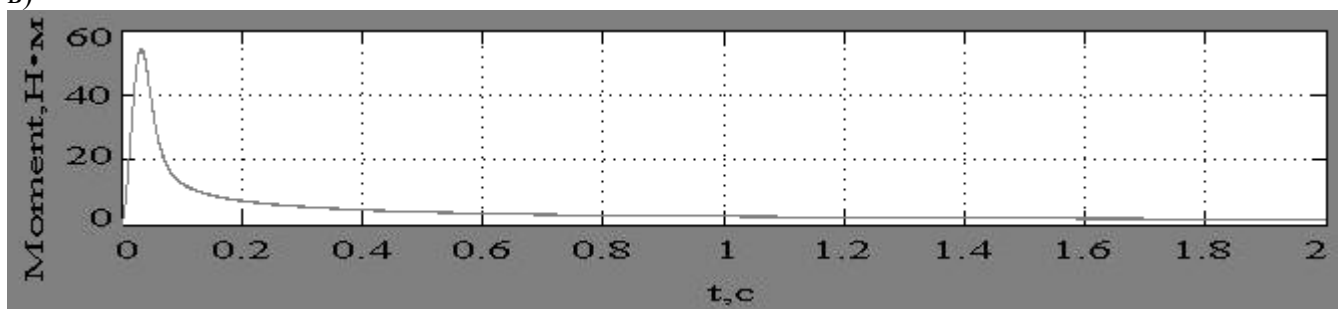
а)



б)



в)



г)

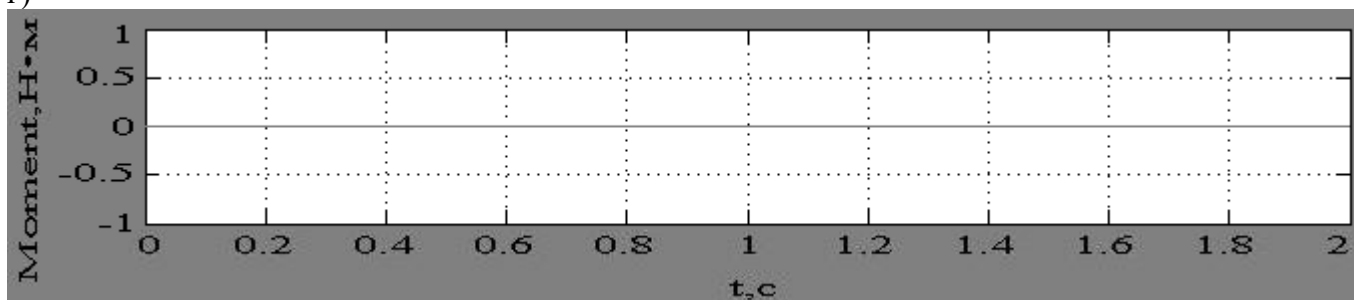


Рис. Б.5. Часові залежності при холостому ході:

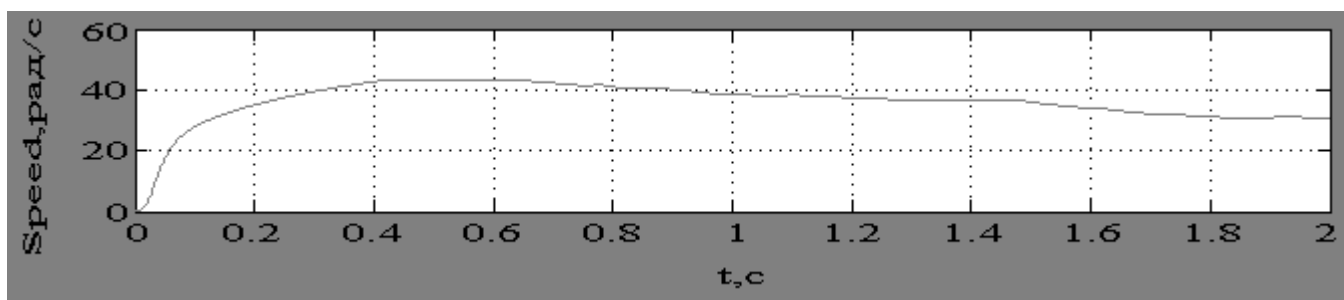
а – швидкості обертання валу двигуна; *б* – струму в обмотках збудження та якоря; *в* – моменту на валу двигуна; *г* – моменту опору руху валу.

Додаток В

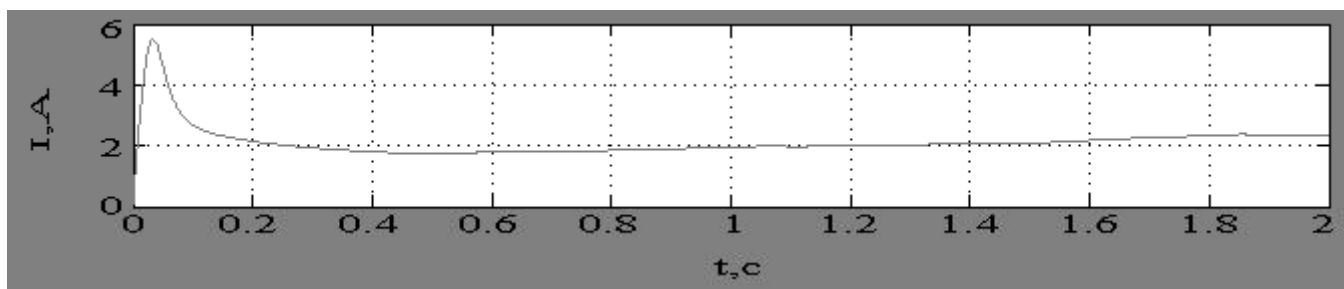
Результати моделювання різних відмов стрілочного переводу.

Спочатку приведено таку відмову як забруднення подушок стрілки. При цьому момент навантаження буде стрибками змінюватись при пересуванні по забрудненим подушкам. Програмно задано зміну моменту під час переводу стрілки і одержано в результаті пропорційні зміни в часовій залежності струму (рис В.1). Як видно з графіків, при зростанні моменту зростає і струм в якорі, що відповідає експериментальним дослідженням. При порівнянні експериментальних залежностей, та графіків поведження моделі при забрудненні подушок видно що поведження моделі адекватне і відповідає реальній ситуації.

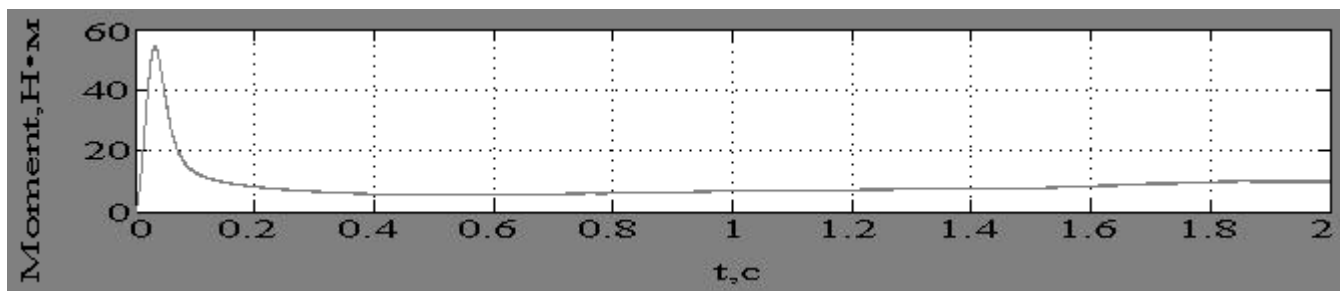
а)



б)



в)



г)

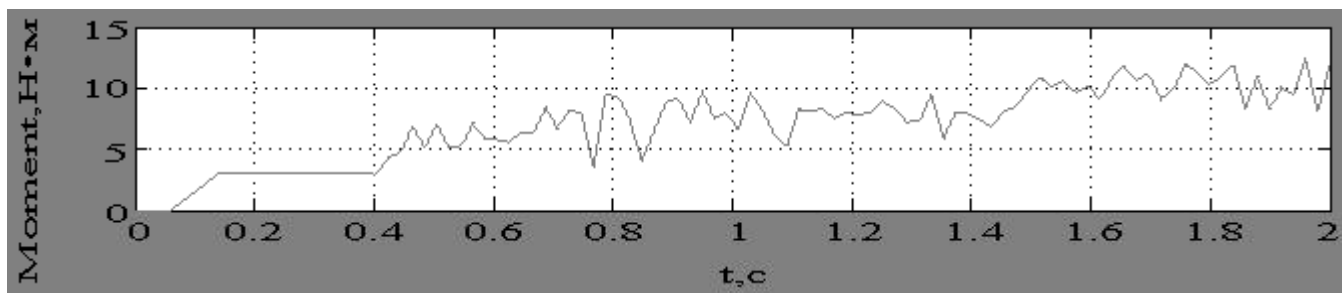


Рис. В.1. Часові залежності параметрів моделі при забрудненні подушок:

a – швидкості обертання валу двигуна; *б* – струму в обмотках збудження та якоря; *в* – моменту на валу двигуна; *г* – моменту опору руху валу.

Для кращого відображення результатів приведено часову залежність струму при даній відмові в іншому масштабі (рис В.2).

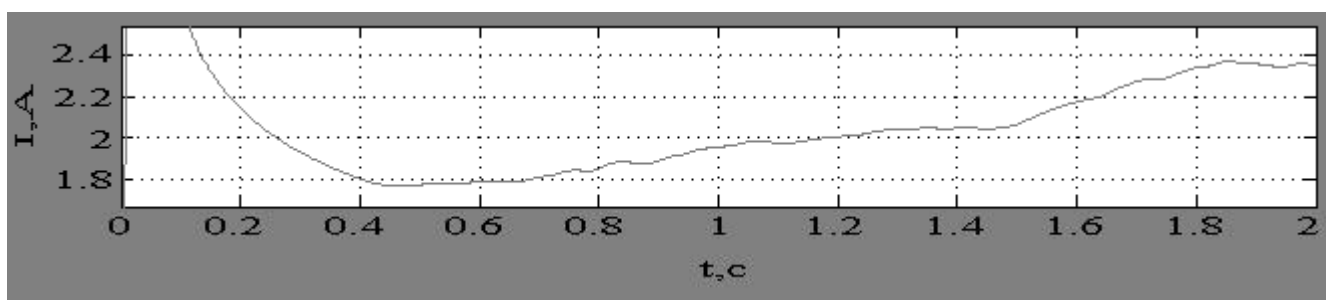
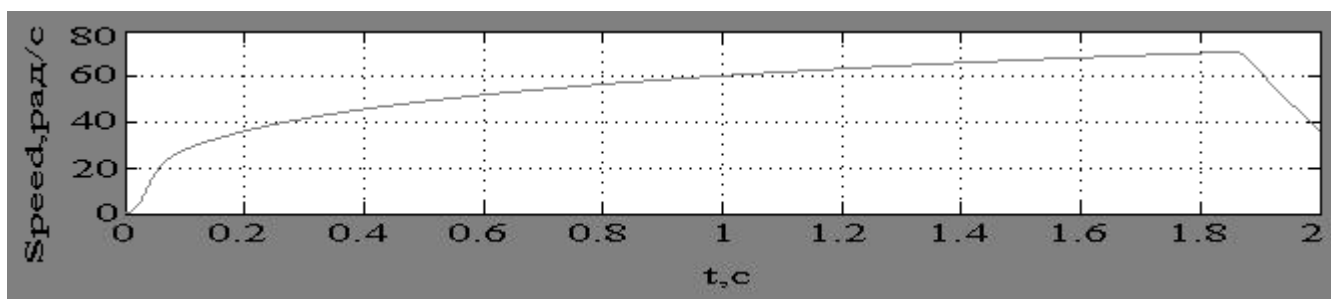


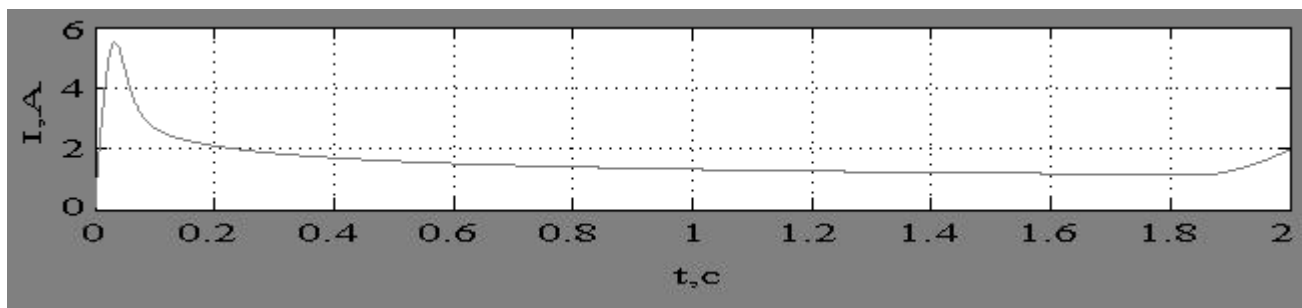
Рис. В.2. Характеристика зміни струму в робочому колі двигуна моделі стрілочного електроприводу при забрудненні подушок.

При моделюванні такої відмови як пружинність гостряків стрілки, навантаження на валу двигуна зростає лише наприкінці переводу, в випадку пружності гостряка або віджиму рамної рейки. При цьому струм наприкінці переводу повинен зростати пропорційно з зростанням моменту. Проделювавши таку ситуацію отримано в результаті наступні залежності (рис В.3)

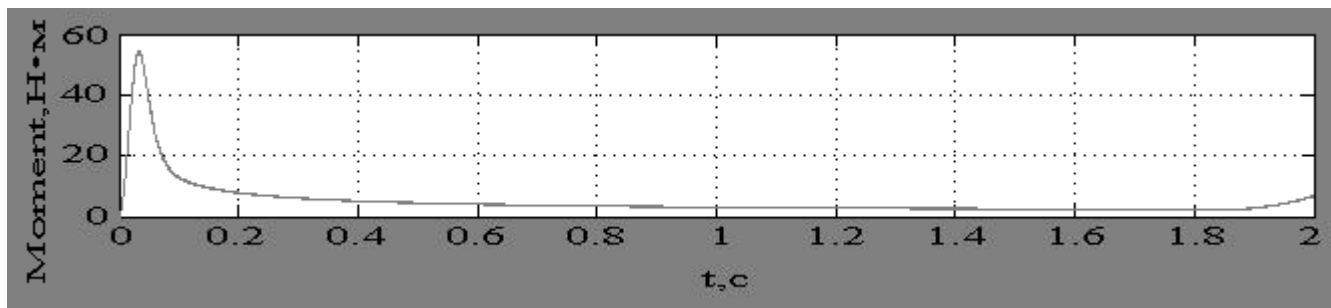
а)



б)



в)



г)

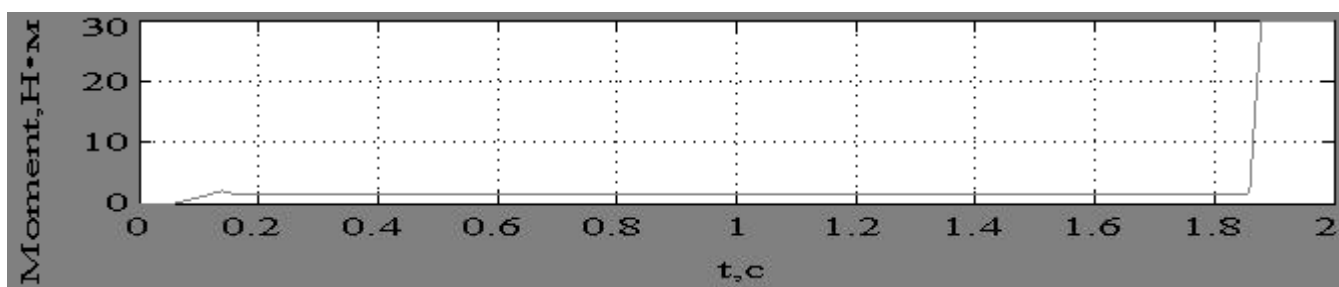


Рис. В.3. Часові залежності параметрів моделі при пружинності гостряків:

a – швидкості обертання валу двигуна; *б* – струму в обмотках збудження та якоря; *в* – моменту на валу двигуна; *г* – моменту опору руху валу.

Для кращого відображення результатів приведено часову залежність струму при даній відмові в іншому масштабі (рис В.4).

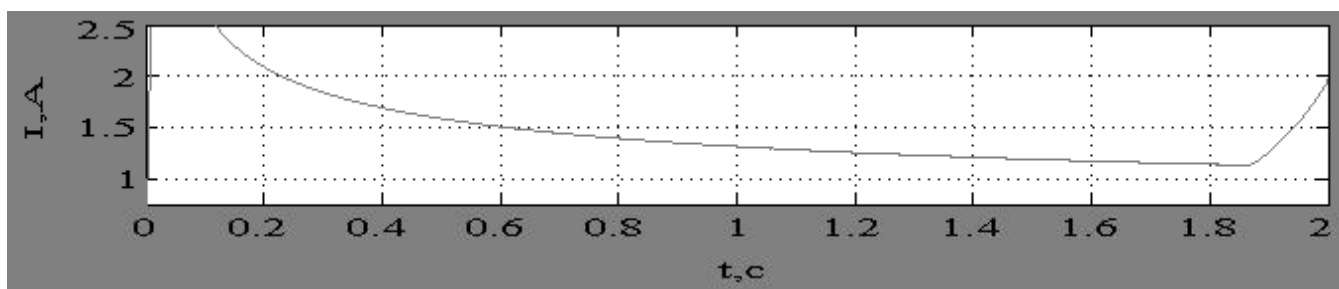


Рис. В.4. Характеристика зміни струму в робочому колі двигуна моделі стрілочного електроприводу при пружинності гостряків.

По рис В.3 б, та рис В.3. в, явно простежується зростання струму наприкінці переходу стрілки, тим самим графіки промодельованого процесу по формі відповідають експериментальним даним, тим самим підтверджуючи адекватність даної моделі.

При моделюванні збільшення моменту на валу двигуна за рахунок роботи стрілки на фрикцію отримано наступні результати (рис В.5). Які в цілому співпадають з експериментальними даними.

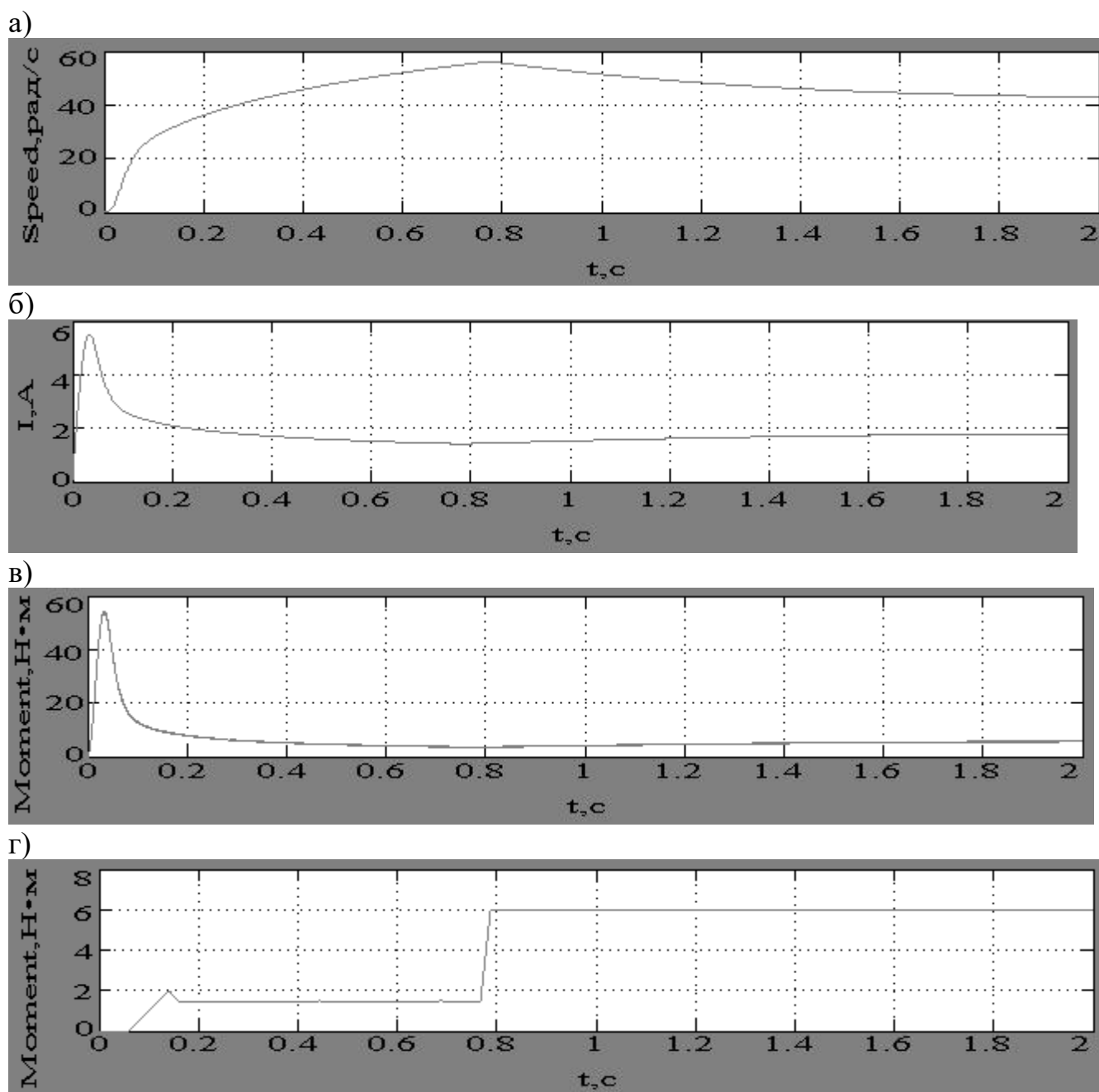


Рис. В.5. Часові залежності параметрів моделі при роботі на фрикцію

а – швидкості обертання валу двигуна; *б* – струму в обмотках збудження та якоря; *в* – моменту на валу двигуна; *г* – моменту опору руху валу.

Додаток Д

Часові залежності струму переводу стрілки
при моделюванні зменшення опору лінійних провідників

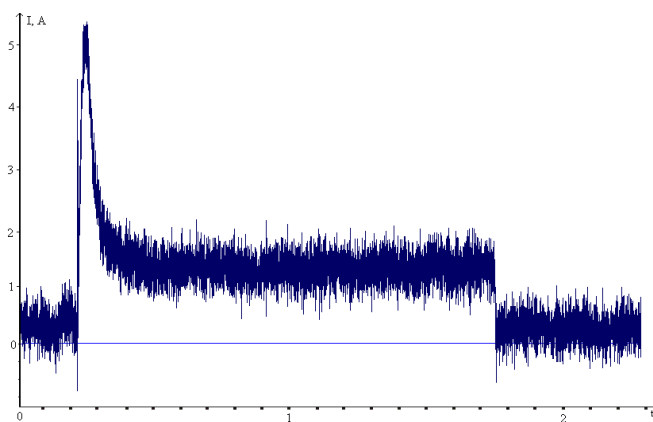


Рис. Д.1. Часова залежність струму при нормальній роботі стрілочного переводу з опором лінійних провідників 7 МОм.

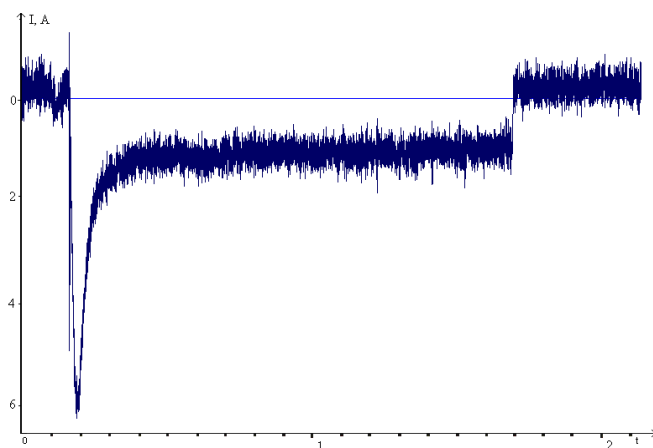


Рис. Д.2. Часова залежність струму при нормальній роботі стрілочного переводу з опором лінійних провідників 1 МОм.

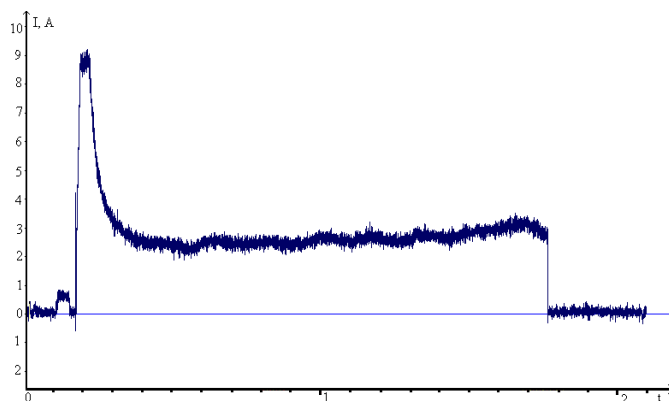


Рис.Д.3. Крива часової залежності струму при нормальній роботі стрілочного переводу з опором лінійних провідників 18 кОм.

Додаток Е

Процедура процесу навчання багат шарової нейронної мережі

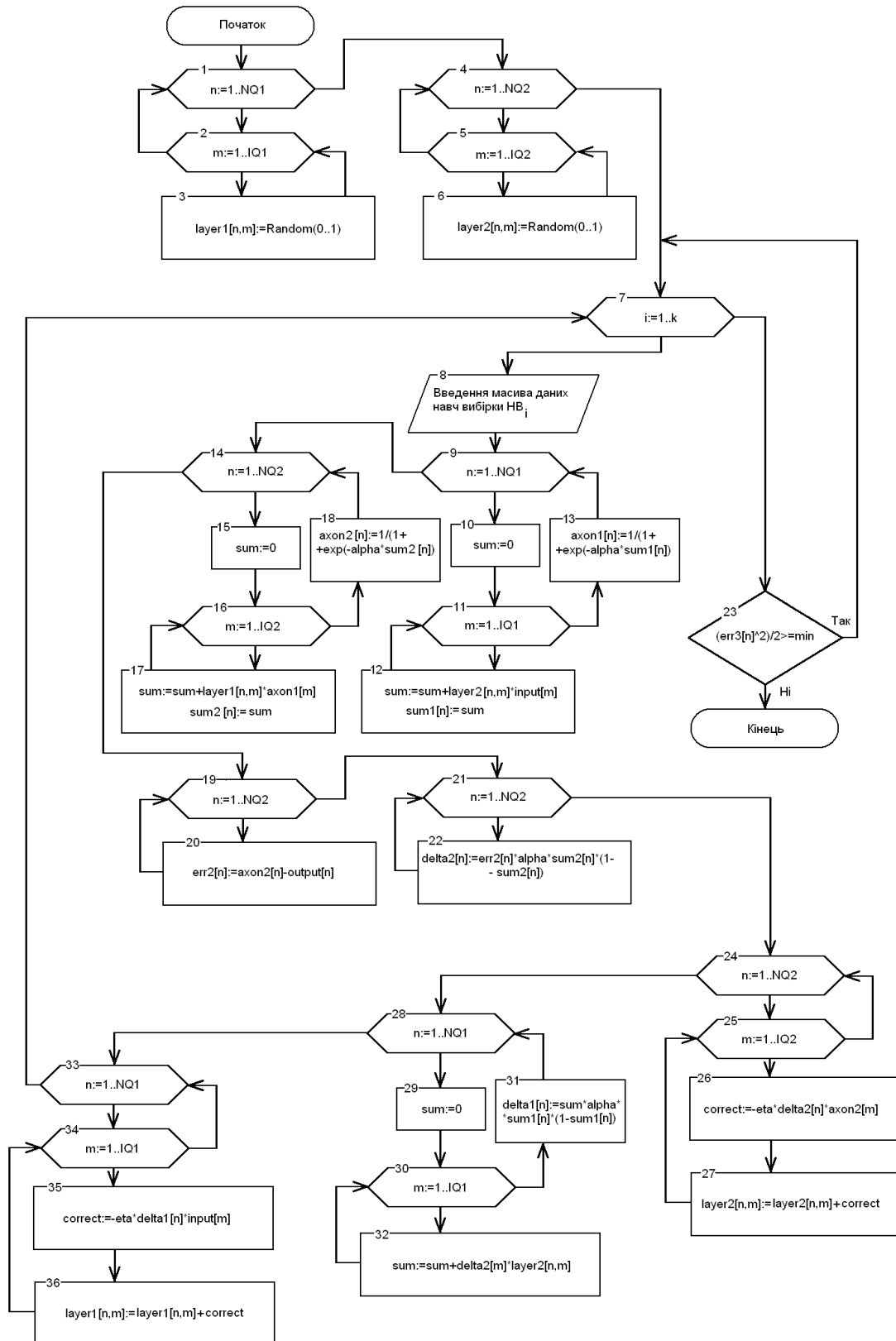


Рис. Е.1. Алгоритм навчання двошарового перцептрона.

Оператори 1-6 виконують рандомізацію синаптичних ваг 1-го і 2-го шарів нейронної мережі (n – номер нейрона у шарі, m – номер вхідного синапса (денрита) нейрона, $layer1[n,m]$ ($layer2[n,m]$) – ваговий коефіцієнт входу m нейрона n першого (другого) шару, $NQ1$, $NQ2$ – кількість нейронів відповідно у першому і другому шарі, $IQ1$, $IQ2$ – кількість вхідних синапсів нейронів першого і другого шару), потім нейронній мережі по черзі пред'являють еталонні зразки всіх вхідних і відповідних їм вихідних векторів (оператор 8), що належать до навчальної вибірки (HB_i де i – номер вибірки). Кількість циклів навчання дорівнює розмірові HB k (оператор 7). Оператори 9 – 18 обчислюють значення аксонів нейронів 1-го і 2-го шарів багат шарового перцептрону ($axon1$, $axon2$). Далі нейронна мережа працює за алгоритмом зворотного поширення помилки. Оператори 19, 20 визначають помилку ($err2[n]$) для кожного нейрона 2-го шару 21, 22 – поправку для кожного нейрона шару 2. Оператори 24 – 27 коректують синаптичні ваги нейронів 2-го шару, Оператори 28 - 32 обчислюють поправку для кожного нейрона шару 1. Оператори 33 – 36 коректують синаптичні ваги нейронів 1-го шару. По закінченні циклу (оператор 7) виконується порівняння середнього квадратичного відхилення помилки з заданим значенням (min , оператор 23). Якщо відхилення менше цього значення то навчання багат шарового перцептрону вважається завершеним, в противному разі процес повторюється.

Додаток Ж

Алгоритми функціонування системи діагностування та контролю стрілочних переводів та системи електричної централізації в цілому.

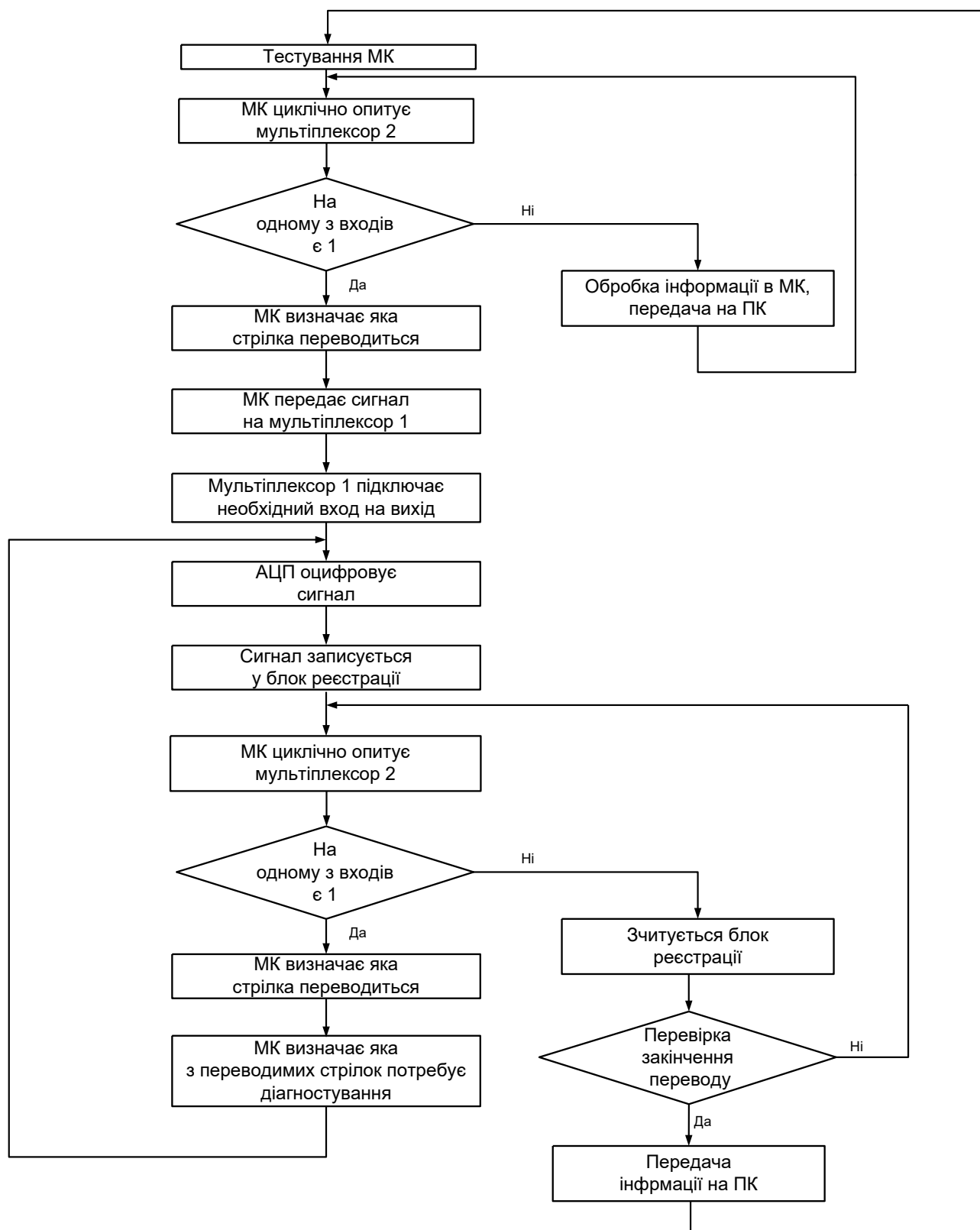


Рис.Ж.1. Алгоритм функціонування системи діагностування стрілочних переводів.

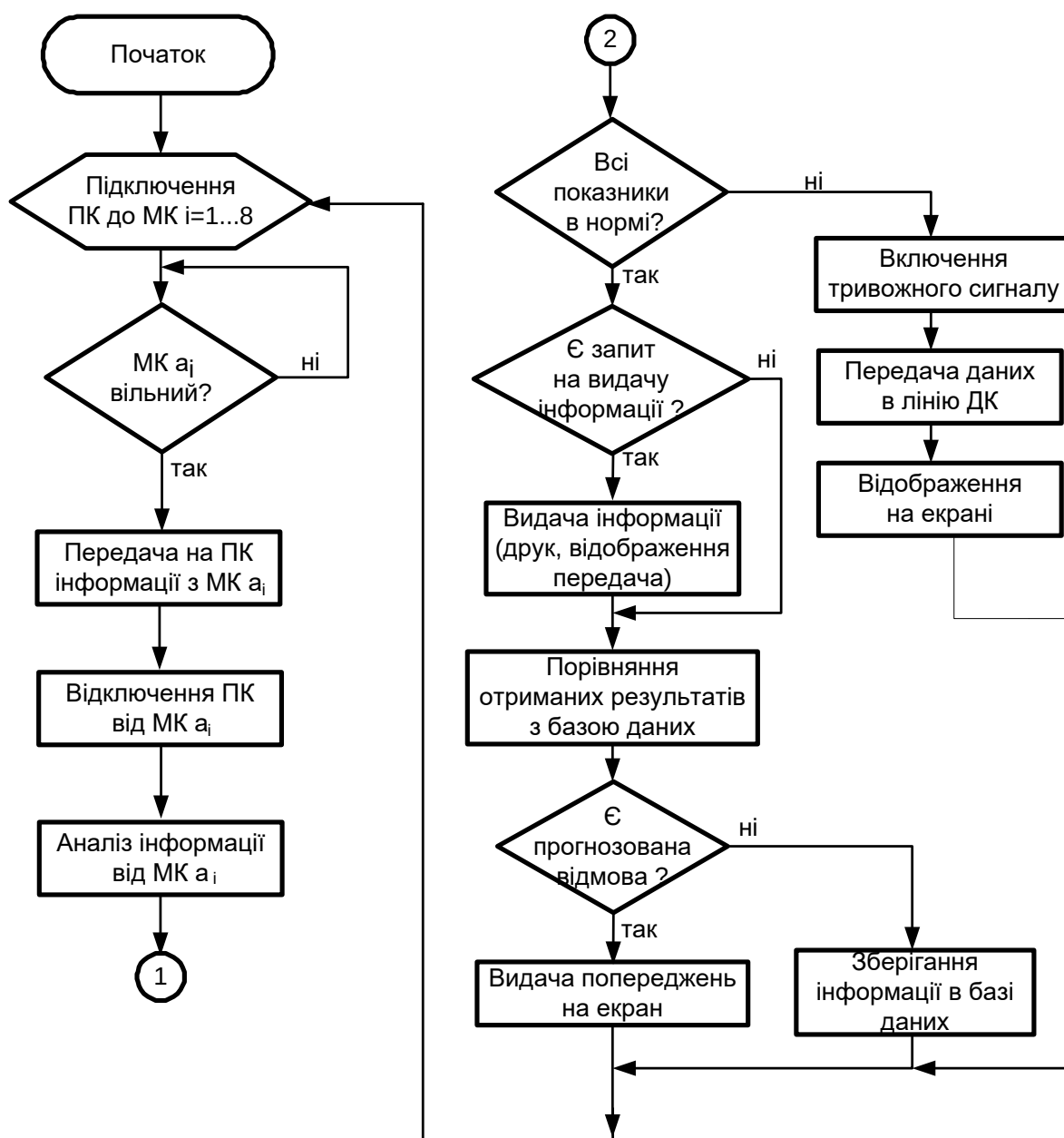


Рис Ж.2. Алгоритм функціонування системи технічної діагностики пристроїв електричної централізації.

Додаток 3

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Дніпропетровського
національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

 Б.С. Боднар

НЗ-БОДНАР Б.Є

2010 р.

22 вер 2010

АКТ

про використання результатів кандидатської дисертаційної роботи
Маловічка Володимира Володимировича
на тему: «Підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних
переводів шляхом автоматизації контролю їх параметрів»
в навчальному процесі.

м. Дніпропетровськ

14 вересня 2010 р.

Цей акт складений про те, що у навчальному процесі, який ведеться в університеті, прийняті до використання наукові та практичні результати, викладені в дисертації Маловічка В.В.:

1. Метод контролю стану стрілочних переводів по часовій залежності та спектральній характеристиці струму переводу стрілки (дисципліни: «Автоматизований електропривід» та дипломне проектування).
2. Науково обґрунтована система технічної діагностики пристроїв електричної централізації (дисципліна «Надійність та діагностування», «Безпека руху та ПТЕ залізниць», «Станційні системи автоматики», та дипломне проектування).

Завідуючий кафедрою «Автоматика телемеханіка та зв'язок»

д.ф-м.н., професор



В. І. Гаврилюк

Міністерство транспорту України
Державна адміністрація залізничного транспорту України
Державне підприємство

“ПРИДНІПРОВСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ”

Служба сигналізації та зв'язку

49600, м. Дніпропетровськ, МСП
пр. Карла Маркса, 108

тел. (0562) 33-07-80
факс: (0562) 33-09-60

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший заступник начальника
Служби сигналізації та зв'язку
ДП «Придніпровська залізниця»
Мелешко В.В.

_____ 20__ р.



про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи на тему
«Підвищення ефективності технічного обслуговування стрілочних переводів
шляхом автоматизації контролю їх параметрів» Маловічка Володимира
Володимировича складений комісією.

Голова комісії:

начальник Дніпропетровської шостої дистанції
сигналізації та зв'язку

Коробка С.О.

члени комісії:

Заступник начальника дистанції по СЦБ
Дніпропетровської шостої дистанції
сигналізації та зв'язку
старший електромеханік СЦБ бригади №5
Дніпропетровської шостої дистанції
сигналізації та зв'язку

Ліховський Є.С.

Курлянцев О.А.

В.о. головного бухгалтера

Дніпропетровської шостої дистанції
сигналізації та зв'язку

Іванченко О.В.

Цим підтверджуємо, що у період з «05» квітня 2010 р. по «05» травня
2010 р. комісією було проведено роботу з визначення ефективності
впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи. Методика, що
розроблена та наведена в дисертаційній роботі, забезпечує автоматичний
контроль та діагностування стану стрілочних переводів по часовій залежності

струму переводу стрілки, для стрілок включених в електричну централізацію, за допомогою спеціального апаратно-програмного комплексу побудованого на сучасній елементній базі, який працює на базі поста електричної централізації. Комісія прийшла до висновку, що впроваджена методика дозволяє удосконалити технічне обслуговування стрілочних переводів (зменшити часові та трудові витрати на 32,12%), підвищити точність вимірів, збільшити кількість параметрів контролю та прогнозувати виникнення можливих відмов, тим самим попереджуючи затримки потягів.

Комісією встановлене наступне.

1. Використана методика автоматичного контролю та діагностування стану стрілочних переводів по часовій залежності струму переводу стрілки за допомогою спеціального вимірювального апаратно-програмного комплексу, який працює на базі який працює на базі поста електричної централізації. відповідає Концепції комплексної Програми розвитку залізничного транспорту України на 2007-2020 р. і рекомендована до впровадження.

2. Характеристика впровадження (місце для впровадження, що впроваджено, фактичні строки впровадження).

На посту електричної централізації станції Дніпропетровськ Дніпропетровської шостої дистанції сигналізації та зв'язку ДП «Придніпровська залізниця» була застосована методика автоматичного контролю та діагностування стану стрілочних переводів по часовій залежності струму переводу стрілки, за допомогою спеціального вимірювального апаратно-програмного комплексу. Впровадження здійснювалось з 05.04.2010 р. по 05.05.2010 р.

3. Характеристика результатів впровадження та їх оцінка. Долева участь Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна.

Впровадження методики автоматичного контролю та діагностування стану стрілочних переводів по часовій залежності струму переводу стрілки дозволило зменшити витрати часу на обслуговування стрілочних переводів у визначений період на 32,12 %, що свідчить про її ефективність. Методичне забезпечення розроблено дисертантом кафедри «Автоматика, телемеханіка та зв'язок» Дніпропетровського

національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна Маловічко В.В. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна на долеву частку грошових надходжень не претендує.

4. Економічний ефект, одержаний від впровадження розробки.

Впровадження методики автоматичного контролю та діагностування стану стрілочних переводів по часовій залежності струму переводу стрілки дозволило отримати економічний ефект 1160,4 грн. за місяць роботи під час зазначеного періоду експлуатації.

5. Висновки та пропозиції про подальше використання

Поширити сферу використання методики автоматичного контролю та діагностування стану стрілочних переводів по часовій залежності струму переводу стрілки на залізницях України.

6. Акт складено в трьох екземплярах.

Голова комісії:

начальник Дніпропетровської шостої
дистанції сигналізації та зв'язку

 Коробка С.О.

члени комісії:

Заступник начальника дистанції по СЦБ
Дніпропетровської шостої дистанції
сигналізації та зв'язку

 Ліховський Є.С

старший електромеханік СЦБ бригади №5
Дніпропетровської шостої дистанції
сигналізації та зв'язку

 Курлянцев О.А.

В.о. головного бухгалтера Дніпропетровської
шостої дистанції сигналізації та зв'язку

 Іванченко О.В.