

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»
Зав. кафедрою АВП
к.т.н., доцент
Олександр Дідик
«___» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Цифрова система оцінки стану двигунів постійного струму»

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу, групи АК-23М-2
ОПП «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»
_____ Поліщук А.О.
«___» _____ 20__ р.

Керівник роботи
доцент, к.т.н.
_____ Юрій ПАРХОМЕНКО
«___» _____ 20__ р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра автоматизації виробничих процесів

Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О.К.

“___” _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Поліщука Андрія Олексійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *«Цифрова система оцінки стану двигунів постійного струму»*
2. Керівник роботи
Пархоменко Юрій Михайлович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання роботи до захисту 26.12.2024 року
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи для безіскрової роботи колектора необхідно забезпечити рівномірне допустиме навантаження струмом робочої поверхні щітки; оцінити стан підшипникового вузла тягового двигуна трамвая за рівнем температури підшипників, визначаючи таким чином якість змазки підшипника
5. Перелік графічного матеріалу функціональні схеми пристроїв для оцінювання технічного стану колектора та підшипникового вузла тягового електродвигуна; структури мікропроцесорної системи діагностування; алгоритми роботи пристроїв для оцінювання технічного стану колектора та підшипникового вузла тягового електродвигуна.

6. Консультанти розділів роботи _____

Розділ (Додатки)	Прізвище, ініціали консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Жесан Р.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих технічних рішень з оцінювання стану тягових електродвигунів постійного струму	20.09.2024	
2	Синтез структури пристрою для оцінювання технічного стану колектора та його мікропроцесорна реалізація	10.10.2024	
3	Синтез структури пристрою для оцінювання технічного стану підшипникового вузла та його мікропроцесорна реалізація	30.10.2024	
4	Синтез структури пристрою для оцінювання якості змазки підшипникового вузла за рівнем температури та його мікропроцесорна реалізація	07.11.2024	
5	Узагальнення запропонованих мікропроцесорних пристроїв в систему діагностування	19.11.2024	
6	Оцінювання помилок при визначенні інформативних параметрів, використаних в мікропроцесорних пристроях діагностування	11.12.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки та підготовка доповіді до захисту	20.12.2024	

Дата видачі завдання

«___» _____ 20__р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 20__р.

Підпис здобувача

_____ (прізвище та ініціали)

Анотація

У своїй магістерській роботі я розробив архітектуру та алгоритм мікропроцесорної системи для аналізу первинної потужності трамвая шляхом визначення рівня вібрації головного двигуна правого електромобіля. Це впливає на стан колектора тягового двигуна і якість змащення підшипників тягового двигуна, в результаті чого забезпечується цілісність всіх частин мікропроцесора.

Достатня відповідність дослідницькому проекту, цілям і завданням.

Для корисних параметрів, що представляють стан найбільш чутливих елементів системи електричної тяги постійного струму (наприклад, безпосереднє складання та встановлення електродвигунів під час експлуатації електромобіля), розраховується математична модель з використанням наступної інформації: , , збирає струм, рівень вібрації та температуру.

Для забезпечення безпеки персоналу та людей вжито відповідних заходів.

Abstract

In my master's thesis, I developed the architecture and algorithm of a microprocessor system for analyzing the primary power of a tram by determining the vibration level of the main engine of the right electric vehicle. This affects the condition of the traction motor collector and the quality of lubrication of the traction motor bearings, as a result of which the integrity of all parts of the microprocessor is ensured.

Sufficient compliance with the research project, goals and objectives.

For useful parameters representing the condition of the most sensitive elements of the DC electric traction system (for example, direct assembly and installation of electric motors during operation of the electric vehicle), a mathematical model is calculated using the following information: , , collects current, vibration level and temperature.

Appropriate measures are taken to ensure the safety of personnel and people.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1. Діагностування технічного стану тягового електродвигуна

1.2. Діагностування якості змазки підшипникового вузла тягового електродвигуна

1.3. Постановка задач дослідження та вихідні дані

Висновки цього розділу

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛЕКТОРА ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

2.1. Синтез структури пристрою для оцінювання технічного стану колектора

2.2. Розробка синтезованої структури

2.3. Мікропроцесорна реалізація пристрою

Висновки цього розділу

3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ, ЩО ОЦІНЮЄ ТЕХНІЧНИЙ СТАН ПІДШИПНИКОВОГО ВУЗЛА В ТЯГОВОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ ПО РІВНЮ ВІБРАЦІЙ

3.1. Математична модель

3.2. Синтез структури пристрою для оцінювання технічного стану підшипникового вузла

3.3. Розробка синтезованої структури

3.4. Мікропроцесорна реалізація пристрою

Висновки цього розділу

4. ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗІ СТРУКТУРОЮ ПРИСТРОЮ, ЩО ВИЗНАЧАЄ ЯКІСТЬ ТЕРТЯ ЗМАЩУВАННЯ ДЛЯ ПІДШИПНИКОВОГО ВУЗЛА ТЯГОВОГО

ЕЛЕКТРОДВИГУНА

4.1. Математична модель

4.2. Синтез структури пристрою для оцінювання якості змазки підшипникового вузла за рівнем температури

4.3. Розробка синтезованої структури

4.4. Мікропроцесорна реалізація пристрою

Висновки цього розділу

5. МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З ПОСТІЙНИМ СТРУМОМ

5.1. Рекомендації щодо застосування запропонованих мікропроцесорних пристроїв в систему діагностування

5.2. Оцінювання помилок при визначенні інформативних параметрів, використаних в мікропроцесорних пристроях діагностування

Висновки цього розділу

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

ВСТУП

Актуальність теми. Мільйони людей щодня користуються електромобілями. У таких випадках необхідно повною мірою використовувати електрообладнання та джерела живлення, щоб уникнути несподіваних поломок елементів обладнання та аварій, викликаних високою напругою.

Для запобігання нещасним випадкам, визначення місцезнаходження обладнання та виявлення критичних дефектів використовуються різноманітні методи та інструменти. Нормальна робота на той час. Оскільки електротранспорт є однією з найважливіших частин електрообладнання трамвая, необхідно розробити нові пристрої, які зможуть перевіряти та перевіряти їх стан за допомогою сучасних платформ. Під час розробки системи корисно мати інструмент для оцінки стану речей, виходячи з певної логіки та темпу процесу. А це можливо лише завдяки мікропроцесорній техніці.

Таким чином, завдяки створенню мікропроцесорного пристрою, який відстежує особливі умови робочого силового агрегату, можна аналізувати ресурси та високоякісні інструменти прогнозування по всьому поїзду. Розробки в цьому секторі важливі як з наукової точки зору, так і з точки зору покращення послуг громадського транспорту.

Об'єкт дослідження – процес визначення нормального стану двигуна постійного струму при нормальній роботі.

Предмет дослідження – мікропроцесорний пристрій для спеціального аналізу двигунів постійного струму під час нормальної роботи.

Мета і завдання дослідження. Метою цього дослідження є покращення якості енергосистеми шляхом розробки мікропроцесора та його використання для моніторингу та оцінки процесу споживання електроенергії постійного струму у великих містах у звичайний робочий час.

Для досягнення цілей будуть поставлені та вирішені такі завдання:

- розглянути сучасні наукові розробки з проблем оцінки, оцінки та прогнозування стану доставки тяги постійного струму.
- розробити математичну модель для оцінки стану елементів тягових електродвигунів постійного струму.

- поивенна містити мікропроцесорну систему для повного аналізу в реальному часі тягових приводів постійного струму.

Методи дослідження формули використовуються для отримання інформації про математичні моделі, а ряд математичних інструментів використовується для проектування структур.

Наукова новизна одержаних результатів:

- удосконалено архітектуру мікропроцесорної системи для аналізу тягових електроприводів постійного струму через рівні проміжки часу, що дозволяє одночасно оцінювати рівень вібрації та якість змащення підшипників тягового електродвигуна.

Практичне значення отриманих результатів. Мікропроцесорний пристрій – це пристрій, який аналізує тягові двигуни постійного струму для прогнозування та виявлення несправностей до їх виникнення, тим самим підвищуючи ефективність електромобілів, запобігаючи аваріям і зменшуючи шум.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Наукові положення, висновки і рекомендації магістерської роботи обґрунтовано коректним використанням математичного апарату, використанням методів комп'ютерного моделювання.

Апробація результатів досліджень. Прийнято участь у Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції «Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві» (13-14 листопада 2024 року, м. Кропивницький, ЦНТУ). Секція - Автоматизація процесів керування та комп'ютерно-інтегровані технології.

Публікації. За темою магістерської роботи опубліковано 1 наукову працю у збірнику тез доповідей до Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції «Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві».

Структура і обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1 Діагностування технічного стану тягового електродвигуна

Діагностування технічного стану колектора тягового електродвигуна

Сучасні конструкції двигунів постійного струму потребують подальших удосконалень у нормальній роботі.

При розробці методів тестування електронних пристроїв визначення найкращого зразка для використання в конкретних умовах дослідження та контролю є важливим і надзвичайно складним завданням.

Вони можуть бути загальними (комплексними), специфічними та взаємозалежними. Стандартний параметр або комбінація параметрів, що використовуються для опису певного стану будь-якого об'єкта. Загальні параметри включають потужність двигуна, рівень шуму двигуна тощо. Деякі клінічні ознаки не залежать один від одного і вказують на певний розлад, який слід дослідити.

Взаємозалежні параметри тестування демонструють похибки точності відносно один одного для надійної роботи. Як правило, параметри зразка вимірюють безпосередньо в клінічному масштабі. Однак у деяких випадках можуть використовуватися непрямі методи. Це означає, що значення шуканого параметра визначається шляхом визначення значень інших параметрів, пов'язаних з конкретними залежностями функції керування [13].

Швидкі зміни технічного стану вимагають постійного контролю за діючими агрегатами, установками та обладнанням, що потребує використання спеціального обладнання міських електрогосподарств (МЕГ). Метою технічного аналізу електрообладнання є забезпечення належної надійності та економічності за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт. Досягти цієї мети можна шляхом моніторингу технічного стану електронних пристроїв під час експлуатації.

Електродвигуни є основними компонентами трамваїв ЕП, і їх ремонт є дуже дорогим і трудомістким елементом електрообладнання. Статистика показує, що трамваї часто ламаються, причому ламаються не тільки машини, а й трамваї,

які повністю стоять, поки не зайдуть на станцію. Тому необхідно перевіряти лише технічний стан тягового двигуна трамвая.

На практиці для аналізу електродвигунів використовуються різні методи та засоби. Однак важливо відзначити, що на даний момент не існує єдиного методу, який би враховував усі фактори, що скорочують термін служби електродвигуна.

Як бачите, найбільш чутливою частиною джерела постійного струму є колектор. Згідно зі статистикою, вихід з ладу електродвигунів найчастіше викликаний пошкодженням або пошкодженням колектора, що в деяких випадках вимагає ремонту для усунення поломки електродвигуна. Основною причиною виходу з ладу колектора є надмірне використання обладнання та зростає із збільшенням струму та температури від 2 до 4.

Крім того, однією з найбільш вразливих частин електромобіля є монтажний вузол. Правильний аналіз встановленого пристрою визначає продуктивність всього пристрою [2].

Хороший спосіб забезпечити належне використання електрообладнання – перевірити його стан. Щоб виявити та проаналізувати загальні проблеми в основних компонентах і елементах електрообладнання, зазвичай можна спостерігати збої в вимірюваннях та інших характеристиках цього обладнання.

У разі неможливості прямого вимірювання використовуються методи, що імітують технологічні процеси, або використовують комбінацію вимірюваних і невимірюваних методів.

Тестовий пристрій включає в себе тестовий пристрій, який перетворює дані, отримані від пристрою, в команди вимірювання відповідно до заданого алгоритму та перетворює вимірювальне обладнання.

Розвиток вимірювальних приладів і сучасних конструкцій відкриває нові можливості для підвищення ефективності використання електронної апаратури, однією з яких є використання в цьому процесі спеціальних моделей.

Для вирішення завдань електричного аналізу рекомендується використовувати новітню мікропроцесорну техніку.

Принцип зміни спеціальних елементів тягового двигуна такий самий, як і у машини, але особливі умови пошкоджують нормальні умови зміни та спричиняють іскри між щітками та струмовою пластиною [2].

Під час обертання арматури щітка продовжує рухати поточну пластину та пов'язані з нею компоненти. Якщо щільність струму, тобто сила струму, що подається на одиницю контакту щіток, надто велика в будь-якій точці поверхні, червона та біла щітки нагріються і створюють струм короткого замикання. , видно як полум'я під кущами. Іскри поступово пошкоджують поверхні щіток і колектора. Залежно від інтенсивності іскри, колектор або щітки можуть бути пошкоджені швидко або повільно . При виникненні сильної іскри напруга дуги знімається з колектора під щіткою і передається на щітку іншої полярності. Крім того, схоже, що на пристрої та з'єднаннях немає напруги . Це явище називається кільцевим світлом і може пошкодити ваш автомобіль. Плавна робота двигуна з іскровим запалюванням , тобто чергування іскроутворення та безіскроутворення, є найбільш надійною. Це створює слабку і прийнятну іскру [3].

Для забезпечення придатних методів використання та ремонту вузлів двигуна необхідно використовувати методи і способи перевірки технічного стану матеріалів. Також необхідно встановлювати ліміти та перевіряти стан матеріалів на всіх етапах виробництва (ремонт, модифікація) та експлуатації [12].

У дослідженнях [2-5] автори представили метод оцінки кількості іскор, створених генератором за допомогою одноразових щіток. Ви можете керувати пензлем і збирати деталі.

Однак, на думку авторів, цей спосіб більш зручний, якщо конструкція щітки сегментована, інакше вузол і дизайн щітки доведеться змінювати.

Діагностування технічного стану підшипникового вузла тягового електродвигуна

Для двигунів малого та середнього розміру, що працюють на високих оборотах, найслабшою частиною є монтажний блок.

Детальний аналіз умов монтажу зазвичай визначає продуктивність всього пристрою. Відомо, що кожен вузол електронного пристрою має свої правила формування вібрації, тому при виборі або розробці моделі вібрації слід враховувати деякі особливості використання вузла в дослідницькій роботі [34].

Дослідження [6, 35] показали, що гібридні вузли можна перевіряти лише неруйнівним методом. Тому вважається доцільним використовувати метод аналізу вібрації для аналізу стану підшипника двигуна. Це спрощує пошук

несправностей, дозволяє раннє виявлення дефектів і допомагає запобігти нещасним випадкам.

Було опубліковано декілька досліджень щодо методів та інструментів аналізу здоров'я конструкцій на основі аналізу спектру будівель та вібрації [6-10, 20-23, 35, 36]. Проте підбір відповідної кількості спеціалізованих компонентів все ще залишається проблемою.

Кілька розробок [4, 5, 9, 24, 25] були використані для дослідження конкретних умов стаціонарних підшипників з використанням різних корпусів машин. Це дозволяє з достатньою точністю визначити робочі характеристики досліджуваного підшипника в порівнянні з його параметрами. Однак усі ці способи вимагають матеріальних і фізичних витрат, оскільки вузол необхідно розібрати, а отже, і весь електромобіль.

Ряд досліджень [3, 8, 10, 36] присвячено розробці методів і приладів для визначення технічного стану підшипників на основі вимірювань амплітуд вібрації в стандартному діапазоні частот. В [5] представили метод керування кількома контролерами одночасно. Однак у більшості цих досліджень розроблені машини були побудовані на старих елементах. Тому при розробці засобів автентифікації необхідно використовувати новітні технології.

У дослідженні [6] автори представили просту методику проведення дослідження. Вимірює час, потрібний для коливання сигналу від половини амплітуди до максимуму та від нуля до половини амплітуди. Стан контрольного пристрою визначається коефіцієнтом вимірювання.

У ряді досліджень [4, 10, 12] автори описують методи аналізу коливальних процесів за допомогою перетворень Фур'є. На основі цих ігор визначено основну інформацію та представлено метод точної оцінки характеристик коливальних процесів.

1.2. Діагностування якості змазки підшипникового вузла тягового електродвигуна

Літературні дані [12, 35, 34] показують, що поведінка штока значною мірою залежить від якості мастила підшипників. Якщо кількість масла в шкірі

недостатня або стан масла невідповідний через наявність бруду, домішок і домішок в маслі, під час роботи системи відбудеться погіршення стану мазуту.

Відомо багато монтажних пристроїв, призначених для фіксації різних положень ковзання підшипників [8, 9]. Однак через особливості виробництва використання обмежується лише м'ячами.

У [9] представили метод визначення стану змащення підшипників шляхом вимірювання струму в маслі під час роботи. Цей метод не працюватиме на машинах, оскільки його важко встановити.

У статті [6] автори представили методику визначення запасів палива судна. Суть цього методу полягає в тому, щоб заповнити бак маслом, відкрити його і нагріти до максимально допустимої для даного виду масла температури. У цій системі джерело ліжка визначається нормальними годинами роботи ліжка. Недоліки цього методу полягають у тому, що тест є складним і тривалим, а отримані результати є недостовірними.

Дослідження [7, 8] розробили інструмент для реєстрації тиску масла під час роботи підшипника. Складність структури пристрою та деталі експериментального дизайну обмежують використання системи та доступний простір для створення мобільних пристроїв на її основі.

У [10, 22] автори представили метод моніторингу нагрівання поверхні блоку шляхом вимірювання температури процесу. Автори припускають, що причиною ожиріння є розщеплення жиру. При цьому автори не замислюються над тим, як обробити отримані дані.

1.3 Постановка задач дослідження та вихідні дані

Проаналізувавши методи та засоби ідентифікації деталей електромобілів, ми дійшли наступних висновків:

1. Аналітичні методи та обладнання для силових електронних елементів були розроблені експериментально спеціально для визначення конкретних умов обладнання за допомогою зразків, коли воно не використовується.

2. Методи та обладнання, що використовуються в рутинній роботі для перевірки якості електронних компонентів, не підходять для цього типу досліджень.

3. Більшість інструментів, які використовуються для перевірки силових електронних елементів, використовуються без мікропроцесорної техніки, тому неможливо об'єднати кілька інструментів в одну спеціалізовану систему.

У результаті аналізу сучасних методів і способів оцінки особливих ситуацій в транспортному електропостачанні можна зробити висновок про необхідність науково-дослідних розробок і необхідність створення нових технологічних прийомів. точніше. „

Відповідно, завдання цього проекту наступні.

- розробити математичну модель пристрою, придатну для аналізу робочого стану на основі загального методу аналізу моделі стану передачі струму та живлення.

- отримати математичні моделі для створення механічних структур для оцінки конкретних умов елементів передачі енергії.

- реалізація мікропроцесорних додатків на спеціальних дослідницьких пристроях, інтегрованих та інтегрованих у складні системи на основі спеціальних пристроїв.

- оцінка штучних механічних похибок.

В першу чергу необхідно врахувати характеристики колектора.

Колекційні іскри класифікуються як перехідні, електричні та механічні.

Іскри зазвичай виникають через зламані щітки в ланцюзі генератора. Потенціал іскри визначається значенням напруги між сусідніми струмоприймачами. Різниця потенціалів між сусідніми струмоприймачами становить 15-18 В, що достатньо для забезпечення дугового з'єднання. Іскри в результаті механічних несправностей залежать від механічних і механічних факторів.

Збір можна досягти без іскор, а робочий струм щіток повинен дорівнювати допустимому навантаженню.

Якщо ця умова не виконується, встановлення не вдасться. Значення [12]:

- 1) горіння - це вогонь у вигляді полум'я.

- 2) екструзія пластини — спричинена неналежним та поганим обладнанням.

3) витік ізоляції між пластинами - викликаний зносом колекторної пластини. Шар міканіту між пластинами зношує колекторну коробку, тому, коли пластини зношуються, тертя передається на колектор, що робить щітку непрацездатною.

4) коротке замикання між пластинами - Коротке замикання в колекторі виникає через згоряння механічних ізоляторів або використання масла або вугільного пилю.

5) коротка палиця на предметі - поломка ізоляційного конуса внаслідок пожежі.

Питома поверхня струмоприймача оцінюється величиною струму, що проходить через з'єднання щітки і струмоприймача.

Однією з цілей цього дослідження є інтеграція мікропроцесорного пристрою для подолання специфічних умов трамвайних генераторів. Це дозволяє проводити тестування та дослідження сидінь під час руху трамвая. джерело

Перший крок - це вивчення поведінки пари.

Для двигунів малого та середнього розміру, що працюють на високих оборотах, найслабшою частиною є монтажний блок.

Правильний аналіз комплекту встановлення зазвичай визначає продуктивність всього пристрою. Відомо, що кожен вузол в електронному пристрої має свої фундаментальні закони вібрації, тому при виборі або розробці моделі вібрації необхідно вивчати робочі характеристики вузлів.

Компактні агрегати доступні тільки при використанні моделей в розібраному вигляді. Тому вважається доцільним використовувати метод аналізу вібрації для аналізу стану підшипника двигуна. Це спрощує пошук несправностей і дозволяє їх раннє виявлення.

Суть діагностичної вібрації полягає в оцінці рівня ізоляції конкретних компонентів у конкретних умовах. Це можна перевірити опосередковано шляхом визначення характеристик без шкоди для умов експлуатації.

Причинами вібрації в блоках тягових агрегатів трамвая є дисбаланс, зсув осі, порушення геометрії пристрою, дефекти балки.

Наявність дефектів значно збільшує амплітуду вібрації [24]. Тому краще використовувати середній квадратичний символ як приклад, дійсний для певного періоду часу.

Важливим аспектом є те, що амплітуди вібрації, пов'язані з використанням амортизаторів, є меншими, ніж ті, які є результатом різних дефектів (наприклад, дисбаланс ротора). У цьому випадку рекомендується встановити значення, що перевищує амплітуду вібрації, щоб швидко знайти причину неприйнятної вібрації.

Крім того, при пошуку джерел неприпустимої вібрації важливо враховувати, що двигун стоїть на двох підшипниках. Якщо рівні вібрації в обох підшипниках однакові, ви можете бути впевнені, що двигун несправний.

Тому, враховуючи все вищесказане, аналізуємо технічний стан вузла тягового двигуна трамвая за середнім значенням амплітуди коливань підшипників.

Вимоги до розробки засобів визначення якості змащування складальних одиниць.

Постійне та належне змащування підшипників забезпечує тривалий термін служби. Якщо рівень гумового мастила недостатній, між металевими частинами підшипника утворюється зона контакту, і в зоні контакту починає утворюватися тепло. Оскільки поверхні торкаються одна одної в різних точках, температура не є рівномірною по всій поверхні. Однак це залежить від підведення тепла до деталі, швидкості тертя, часу контакту тощо. Таким чином, з часом встановлюється температурний баланс і температура тіла стає нормальною, придатною для протилежних умов. Масло сприяє розподілу тепла між рухомими частинами. Фактично, вони можуть бути підключені до одного пристрою, обертаючись у різних напрямках. Час витримки залежить від швидкості обміну речовин. У тягово-моторній частині трамвая, що рухається з різною швидкістю (трамвай повинен зупинятися кожні 2-3 хвилини), час контакту може досягати 10^{-2} - 10^{-1} секунд. Під час цього процесу підшипники починають перегріватися без належного змащення [6, 7].

Мастило запобігає прямому контакту з металом, охолоджуючою рідиною та видаляє абразиви та інші забруднення. Навіть короткі періоди відсутності

мастила між опорними поверхнями можуть погіршити умови тертя та збільшити знос і корозію підшипникових металів і сиру. З цієї точки зору інформація про робочу температуру відіграє важливу роль у продуктивності операційної системи [8].

Тому, враховуючи все вищесказане, оцініть стан підшипникових вузлів тягового двигуна трамвая і температуру підшипників і визначте якість змащування підшипників.

Висновки цього розділу

1. Методи та засоби, які використовуються для дослідження специфічного стану електричних елементів при нормальній експлуатації, для таких досліджень непридатні.
2. Необхідно створити пристрій для оцінки конкретного стану набору, і спроектувати тяговий електродвигун постійного струму.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛЕКТОРА ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

2.1. Синтез структури пристрою для оцінювання технічного стану колектора

При розробці системи визначення технологічного рівня протипожежного захисту використовуються коди маркування. Як відомо, цифрові пристрої використовуються для обробки різних сигналів. Також необхідно створити структуру системи і врахувати співвідношення з урахуванням гранично допустимих значень струму.

Усе це дуже ускладнює машинобудування. Тому для оцінки технічного стану колекторів тягових двигунів трамваїв рекомендовано використовувати цифрові засоби аналізу структури системи [21, 24]. Це настільки ж широко, як і конкретна мова програмування, але представлення мови програмування більш схожі. Крім того, в прогресивних мовах набагато легше переходити безпосередньо від деталей до структури.

При використанні послідовних машин кожен елемент є відповідним набором інформації, як зазначено в цьому документі [21, 24].

$$\varphi \vdash \psi, \quad (2.1)$$

І це також працює в логічній алгебрі $\psi . \varphi$

Якщо твердження істинне, то φ воно істинне ψ .

Відповідно до (2.1) скінченний автомат з пам'яттю можна записати у вигляді

$$\tilde{X}_{i_1} \dots \tilde{X}_{i_q} \tilde{S}_{i_1} \dots \tilde{S}_{i_r} \vdash \tilde{S}_{j_1} \dots \tilde{S}_{j_r}, \quad (2.2)$$

$$\tilde{X}_{i_1} \dots \tilde{X}_{i_q} \tilde{S}_{i_1} \dots \tilde{S}_{i_r} \vdash \tilde{Y}_{k_1} \dots \tilde{Y}_{k_r}, \quad (2.3)$$

де q - цифра індексу.

r — кількість бітів на рівні коду.

v - кількість кодових бітів вихідного символу.

$\tilde{X}_{i_t}$ - Зміна значення показника ($t = 1, \dots, q$).

$\tilde{S}_{i_p}, \tilde{S}_{j_p}$ - набір значень індексу ($p = 1, \dots, r$);

$\tilde{Y}_{k_w}$ Значення параметрів сигналу є змінними ($w = 1, \dots, v$).

Змінними $\tilde{u}_{1_s} \in \{\tilde{X}_{i_t}, \tilde{S}_{i_p}, \tilde{S}_{j_p}, \tilde{Y}_{k_w}\}$ можуть бути u_{1_s} або $\bar{u}_{1_s}$.

Співвідношення (2.2) і (2.5) описують правила представлення зовнішніх і внутрішніх символів у конкретному завданні перекладу. Якщо в структурі системи є час, який викликає затримку в роботі конкретного блоку, ця частина може бути виражена як булева функція часу [47], визначена наступним чином.

$$\tau = \begin{cases} 0, & t < T; \\ 1, & t \geq T, \end{cases} \quad (2.4)$$

Де мені змінити час τ

t - поточне значення.

t - обмеження часу.

Згідно з проектом системи, система повинна фіксувати, у скільки разів може збільшитися значення струму за рахунок з'єднання між щітками та пластиною колектора, щоб оцінити конкретний стан колектора. На підставі цієї інформації водій повинен приймати рішення про подальше використання транспортного засобу. Ці перевантаження можуть виникати до 145 разів за робочий цикл, що ускладнює проектування системи. Тут ми представляємо інтегрований приклад, який надає одноразові, дворазові та триразові допуски під час використання системи. Використовуйте рівняння, щоб визначити поточну вартість кожного.

для двох переходів — X_1, X_2 , а події для трьох переходів — X_3 . Так що $\bar{X}_1$ це для шоу і $\bar{X}_2$ нічого зайвого. $\bar{X}_3$

T_1, T_2, T_3 , який блокує перший, другий і третій канали. Щоб протистояти акумулятору, нам потрібно надіслати 1 імпульс у стан X_1 , 2 імпульси в стан X_2 і 3 імпульси в стан X_3 , тому τ_1 ми використовуємо збудження T_4 для надсилання цих імпульсів і встановлення затримки. T Пересуває ворога. Увійдіть у систему та запустіть T_6, T_7 , щоб зберегти шкіну під час розрахунку τ_2 . Ми також пропонуємо генератор T_8 із функцією затримки, яка скидає всі тригери після циклу. τ_3 Оскільки система повинна працювати циклічно, для початку нового циклу в системі вводиться сигнал R .

З огляду на це, поведінка машини показана на схемі. 2.1.

Існує багато способів описати результати схематичного інструменту оцінки ситуації, але вони досить складні. Тому редукція виконується за такими кроками [46, 47]:

$$(\varphi_1 \vdash \psi_1) \vee (\varphi_2 \vdash \psi_1) \Leftrightarrow [(\varphi_1 \vee \varphi_2) \vdash \psi_1], \quad (2.5)$$

$$(\varphi_1 \varphi_2 \vdash \varphi_1 \psi_1) \Leftrightarrow [(\varphi_1 \vee \varphi_2) \vdash \psi_1]. \quad (2.6)$$

Інші властивості є похідними від цих властивостей.

$$(\varphi_2 \vdash \psi_1) \Leftrightarrow (\varphi_1 \varphi_2) \vdash \psi_1, \quad (2.7)$$

Якщо ввімкнено таку інформацію:

$$(\varphi_1 \varphi_2) \vdash \psi_1, \quad (2.8)$$

$$(\overline{\varphi_1} \varphi_2) \vdash \psi_1, \quad (2.9)$$

Використовуйте властивості (2.5) - (2.9), щоб знайти еквівалентність цих систем у порядку спадання.

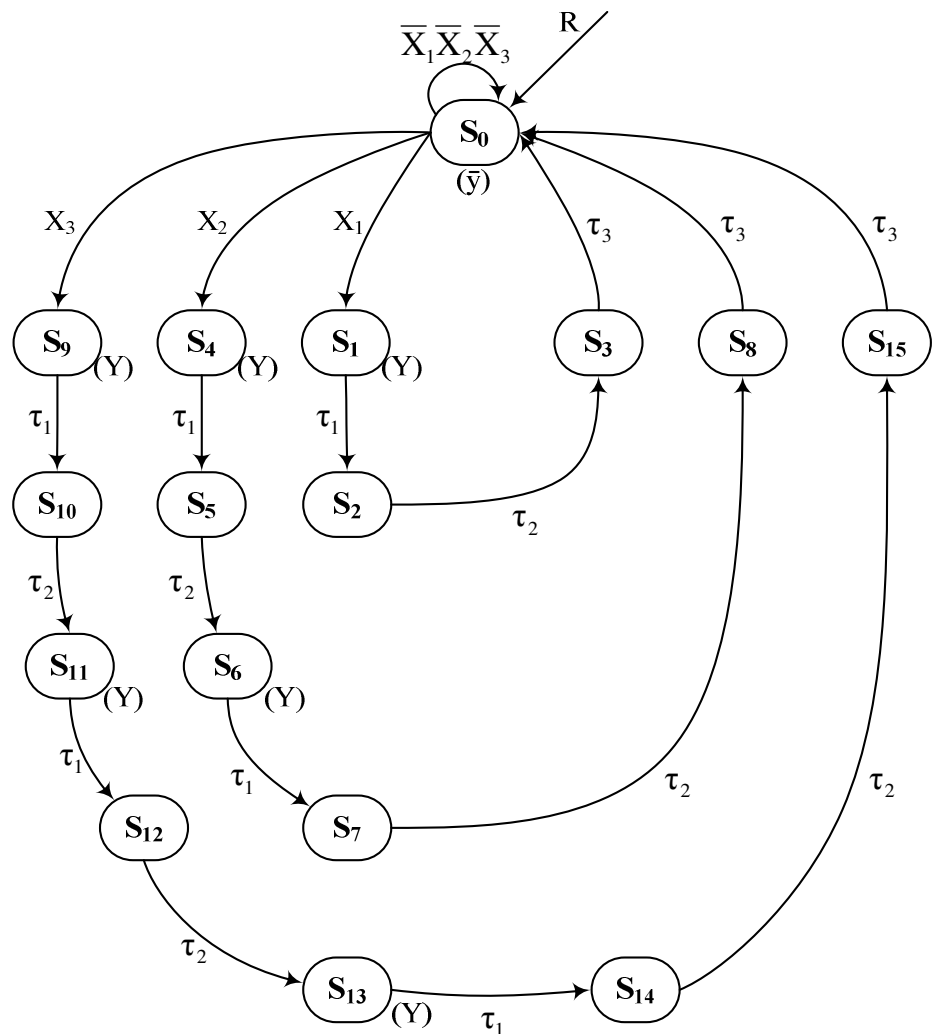


Рисунок 2.1 – Загальна схема пристрою для визначення конкретних умов збору

$$\begin{aligned}
& P X_1 \vdash T_1 T_4, \\
& P X_2 \vdash T_2 T_4, \\
& P X_3 \vdash T_3 T_4, \\
& \tau_2 (T_2 T_5 \vee T_3 T_5 \vee T_3 T_6) \vdash T_4, \\
& \tau_1 T_4 \vdash \bar{T}_4, \\
& T_4 \vdash (T_5 2, 10) \\
& \tau_1 \tau_2 (T_2 \vee T_3 T_5) \vdash T_6, \\
& \tau_1 \tau_2 T_3 T_6 \vdash T_7, \\
& \tau_2 (T_1 T_5 \vee T_2 T_6 \vee T_3 T_7) \vdash T_8, \\
& \tau_3 T_8 \vdash \bar{T}_8, \\
& R \vee T_8 \vdash \bar{T}_1 \bar{T}_2 \bar{T}_3 \bar{T}_4 \bar{T}_5 \bar{T}_6 \bar{T}_7, \\
& T_4 \vdash Y,
\end{aligned}$$

Формула ряду (2.10) визначає математичну модель пристрою для контролю технічного стану колектора електродвигуна трамвая.

На основі отриманої математичної моделі (2.5) складається конфігураційна схема машини для оцінки технічного стану архіву.

Першим кроком у цьому процесі є створення структурованого плану за допомогою методу покрокового планування (2.10). Усі ці процеси реалізуються в паралельних схемах, де сигнали, пов'язані з комбінацією символів ліворуч від послідовності, використовуються для сигналізації про створення тієї самої гри. Через діодну матрицю

Якщо код статусу бістабільного елемента з правого боку послідовності не повертається, вихід того самого зв'язку з'єднується з входом з правого боку бістабільного елемента. При інвертуванні коду режиму вхід паралельної схеми з'єднується з інвертуючим входом двійкової комірки.

Діаграма, побудована за формулою (2.10), зображена на рисунку. 2.2 Вхідні сигнали та сигнали стану направляються до відповідних ланцюгів. Кожен діод у схемі відповідає послідовності в матриці. Відкриття діода на малюнку

позначено крапкою. Кожен стовпець цієї матриці відповідає одній із реалізацій бістабільного елемента.

Ця функція $\tilde{T}_1\tilde{T}_2\tilde{T}_3\tilde{T}_4\tilde{T}_5\tilde{T}_6\tilde{T}_7\tilde{T}_8$ являє собою комбінацію умов, що використовуються в паралельних схемах бістабільних елементів. Змінні $\tilde{T}_i$ можуть містити або містити $\tilde{T}_i$ ($i=1,2,\dots,8$) значення T_i .

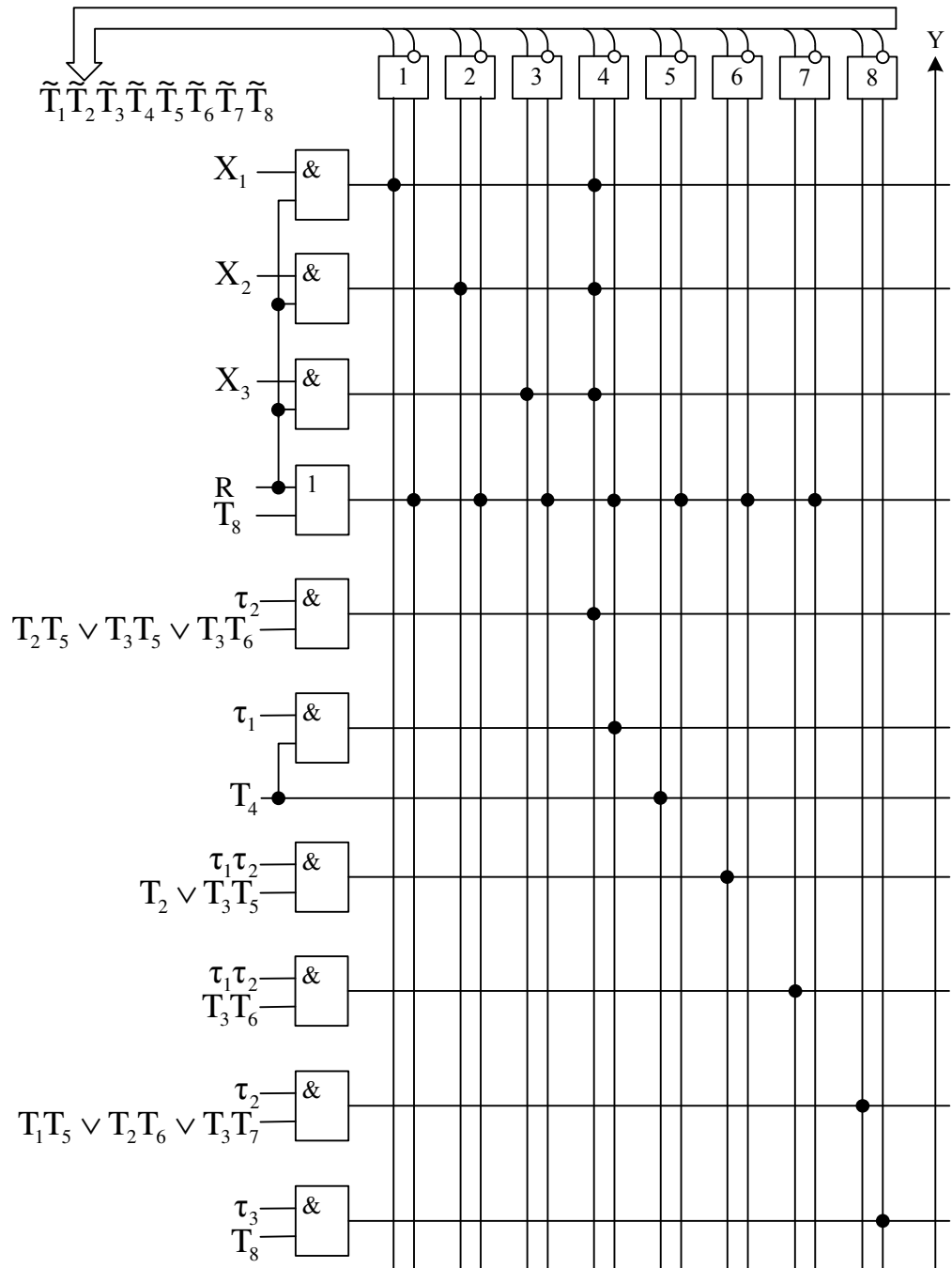


Рисунок 2.2 - Принципова схема пристрою для визначення конкретних умов збору

2.2. Розробка синтезованої структури

План впровадження системи у другій частині інтеграції дизайну системи оцінки працездатності сховища викладено у формі легкої для впровадження структури на основі вибраних елементів. Щоб досягти цього, ми змінюємо програму, показану на рис. 2.2 Використовується спосіб зміни з'єднання елементів шляхом прямого з'єднання з діодною матрицею. Результатом буде зображення, подібне до рисунка 2.3.

Завдання на час τ_1 - τ_6 На цьому зображенні його було замінено через затримки зарядки. Сполучник (O) замінюється елементом «і» («ПО»).

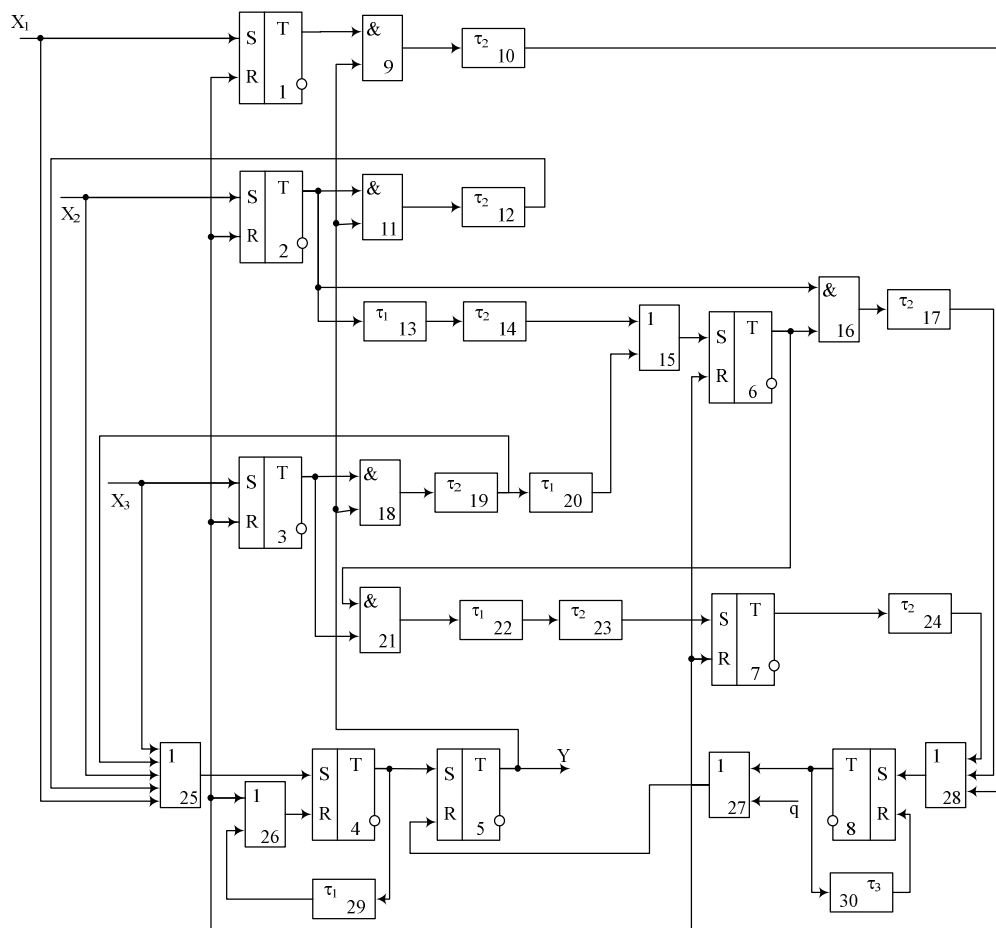


Рисунок 2.3 – Конфігурація машини для аналізу технічного стану архіву після конвертації

Використовуйте структуру елементів масиву, щоб перетворити структуру на структуру, придатну для вашої реалізації. Для обробки вхідного сигналу

додаються елементи схеми. Згідно з вищесказаним, структура така, як показано на малюнку. 2.4

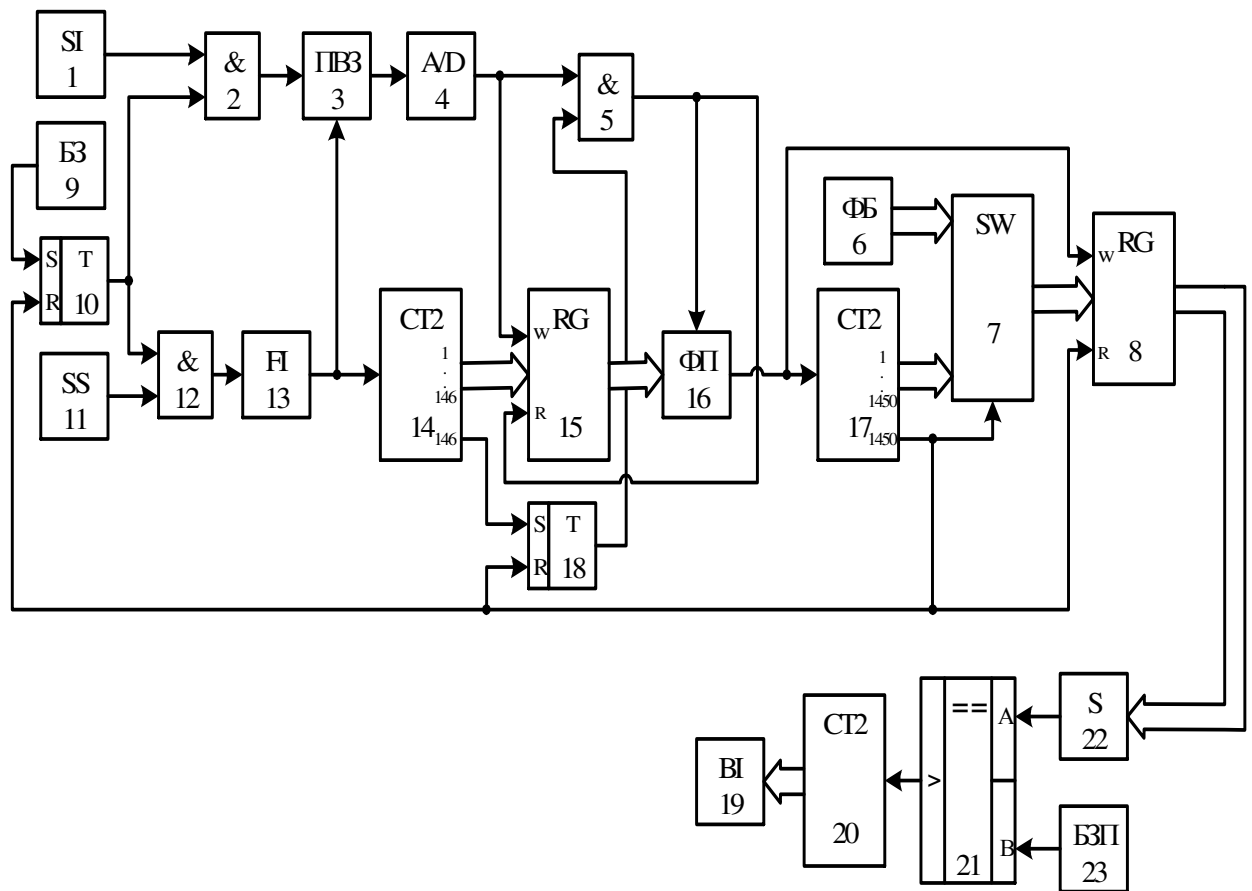


Рисунок 2.4 - Схема пристрою для оцінки технічного стану електродвигуна генератора з правильно виготовлених елементів.

На малюнку. 2.4 Використовуються наступні позначення: 1 - датчик SI для з'єднання використаної щітки з пластиною колектора. 2, 5, 12 - Важливі елементи І 3 - Обладнання для відбору та збору PWZ. 4 - A/DA/D перетворення. 6 - функціональний блок FB. 7 - стрілочний перемикач. 8, 15 - Список РГ. 9 - Частина зброї БЖ. 10, 18 - тригер РТ 11 - синхронний датчик на пластині колектора. 13 - лампа двигуна FI. 14, 17, 20 – двійковий лічильник CT2. 16 - ФП функціональний переклад. 19 - Дисплейний пристрій. 21 - Порівняння. 22 - Акумулятор S 23 - Блок обмеженого набору БЗП.

Блок приводу (9) розміщує тригер (10) і активує логічні елементи (2, 12). Через логічний елемент (2) пристрій зразка та запам'ятовування тепер отримує

один із трьох доступних сигналів. Збірник імпульсів отримує сигнали від вбудованого пристрою (11) на платі через елемент (12).

Фотодіод (виготовлений зі світлодіодів) відбиває світло від сигналу на збірну пластину. Вмикається фотодіод і протягом деякого часу імпульсно подається постійна напруга +5 В. Протягом одного циклу зображення кількість імпульсів на виході генератора імпульсів у 13 разів перевищує кількість блоків запису.

За допомогою запам'ятовування від 1 до 146 імпульсний сигнал генератора 13 надходить на вхід лічильника 14 і пристрою вибірки та реєстрації 3. Спеціальні аналогові сигнали тепер генеруються на виходах семплера та записуючого пристрою та передаються між ними. Генератори імпульсів 13 і 13. Зберіть щітки і пластини. Цей сигнал проходить через функцію захоплення на вхід АЦП 4 для зупинки пристрою, що відповідає входу запису регістра 15.

Одночасно на другий вхід регістра 15 надходить сигнал від лічильника 14. Реєстр 15 налічує 146 записів. Коли лічильник 146 зчитує імпульс струму, клапан 18 встановлюється на 1, що відкриває логічну комірку 5, і імпульси від точки відліку 146 починають надходити до перетворювача 16 і R. (Читати) Ввести пункт 15.

З виходу регістра 15 функція перетворювача 16 отримує останнє зареєстроване там значення імпульсу 146, а значення останнього імпульсу струму передається на другий вхід. Середнє значення імпульсів струму згідно (2) формується на виході передатної функції (16). Середнє значення імпульсів струму надходить на вхід 17 лічильника і вхід 8 регістра.

На виході циклів регістра лічильника 17 і 1450 (що відповідає колекторному циклу 10) сигнал надходить на перемикач 7 за допомогою регістра 8. Сигнал з'являється після циклу запису. Лічильник 17 скидає 10 і 18, стикається з записами 6 і 7 і може зчитувати дані, приймаючи вхід R регістра 8. Функціональний блок 6 використовує регістр 8 для надсилання потрібного сигналу 145 разів через клавішу 7. Це дозволяє послідовно зчитувати потрібні значення імпульсу з регістра 8 відповідно до (1). Спочатку 1, 146, 291, ..., 1306, потім 2, 147, 292, ..., 1307 і так далі.

Регістрова операція 8 відповідає операції додавання 22, яка визначає абсолютну кількість динамічних значень в регістрі. Сигнал з виходу акумулятора надходить на перший вхід рівняння 21, на другий вхід надходить сигнал від блоку стабілізатора 23, який регулює його значення відповідно до пункту (1). δ Результат порівняння (0,1) поміщається в лічильник 20 і його функція відповідає входу 19 дисплея. Таким чином, сегмент дисплея 19 відображає непарні числа (починаючи з 0). ~145) Перевірте статус архіву.

Конфігурацію електричних елементів системи можна знайти, наприклад, у [48, 49]. Неважко зрозуміти, що будова приладу для оцінки стану колектора тягового двигуна дуже проста. Це завдання просте і недороге, особливо з огляду на можливі наслідки, якщо помилки збирання будуть виявлені на ранній стадії.

2.3. Мікропроцесорна реалізація пристрою

Структура мікропроцесорного пристрою для оцінки особливих умов головного колектора двигуна постійного струму наведена на рисунку 2.5.

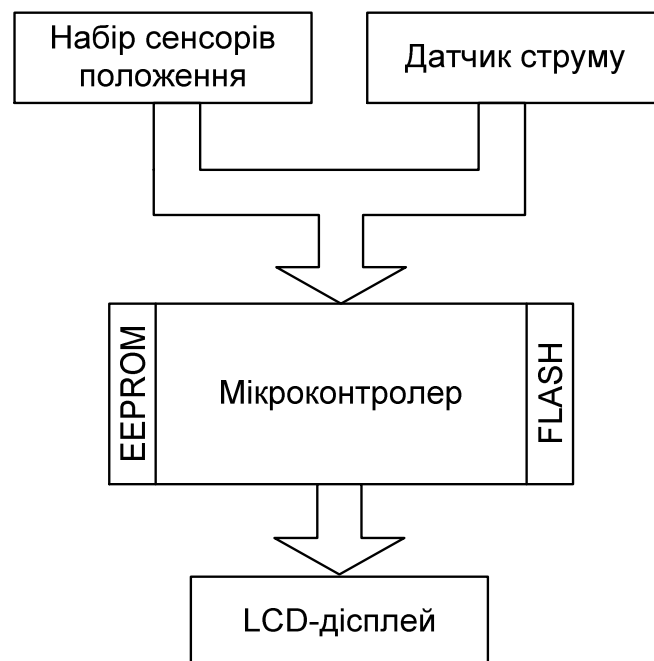


Рисунок 2.5 – Схема верстата, який використовується для аналізу механічного стану колектора двигуна.

Алгоритм на мікропроцесорному пристрої оцінки конкретних станів колектора тягового двигуна за математичною моделлю, наведеною на рис. 2.6 наведена в [33].

Пристрій заснований на мікроконтролері Atmel AT90S8535 і не використовує пам'ять EEPROM. Напруга на землю +5В. Датчик струму DIT500 встановлений в трубі генератора і забезпечує напругу, рівну величині струму, що проходить через з'єднання щіток і колекторної коробки.

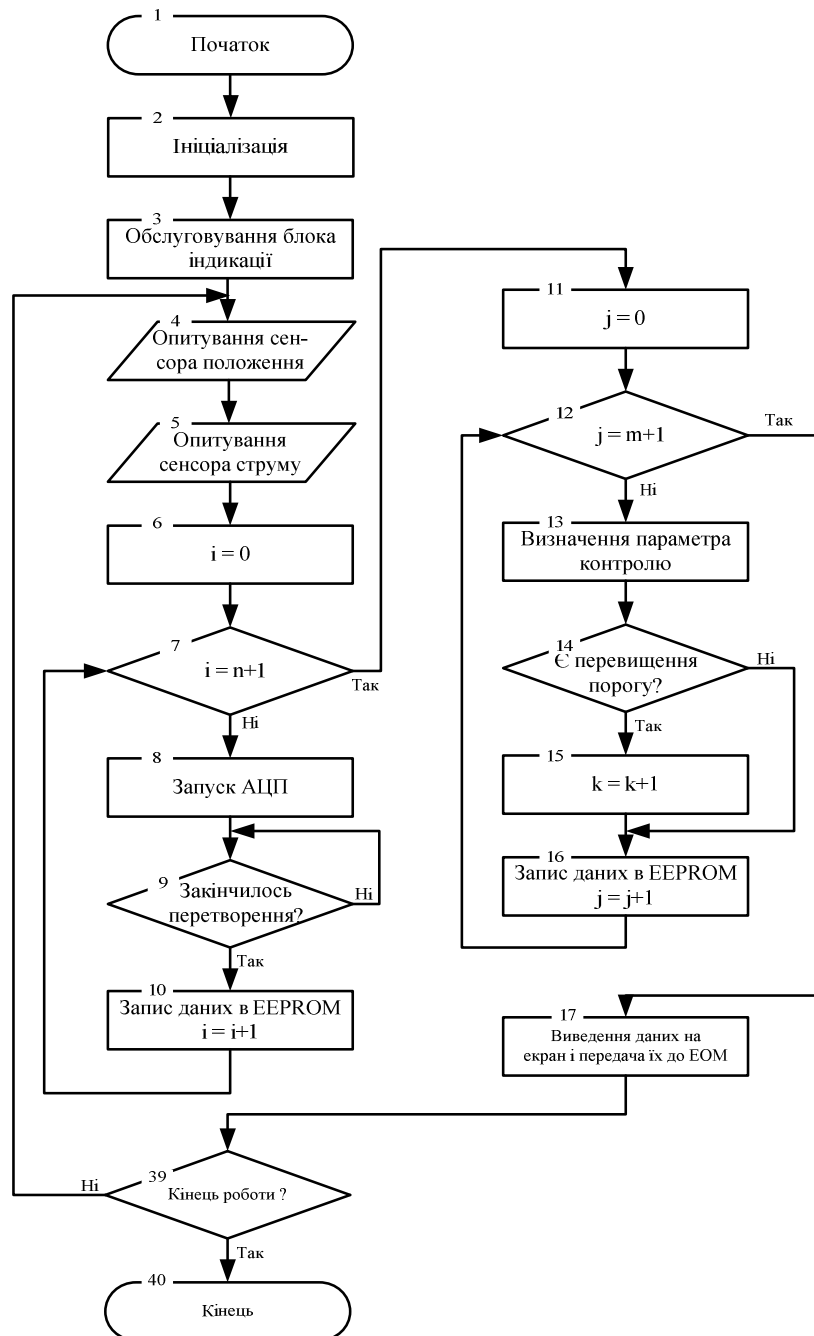


Рисунок 2.6 – Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою оцінки технічного стану двигуна генератора.

Ця напруга (до 5 В) інтегрується в мікроконтролер і використовується для аналогового входу АЦП, який перетворюється на певне цифрове значення, що відповідає струму з'єднання між щіткою та колекторною коробкою. Показано колекторну пластину Кільця Сатани та показано світло, яке виробляє діод VD1 (AL107 А). Світло сигналізується фотодіодом VD2 (FD-K-155). Фотодіод VD2 (FD-K-155) сигналізує і передає сигнал на блок управління через перетворювач SN7420N за допомогою мікроконтролера. Таким чином, струм, що протікає на стику між щітками та пластиною колектора, тепер ізолюваний.

Мікроконтролер зберігає всі поточні значення (1595 значень) для 11 змін в пам'яті EEPROM і $a_{i\pi}^*$ обчислює ці значення на основі (1) до (2). Якщо деякі значення з $\text{tolerance}()$ відмінні від нуля, δ на РК- $a_{i\pi}^*$ екрані (HD44780) відобразиться повідомлення про необхідне обслуговування для захисту пристрою. Робота пристрою показана на рисунку 2.7 [51].

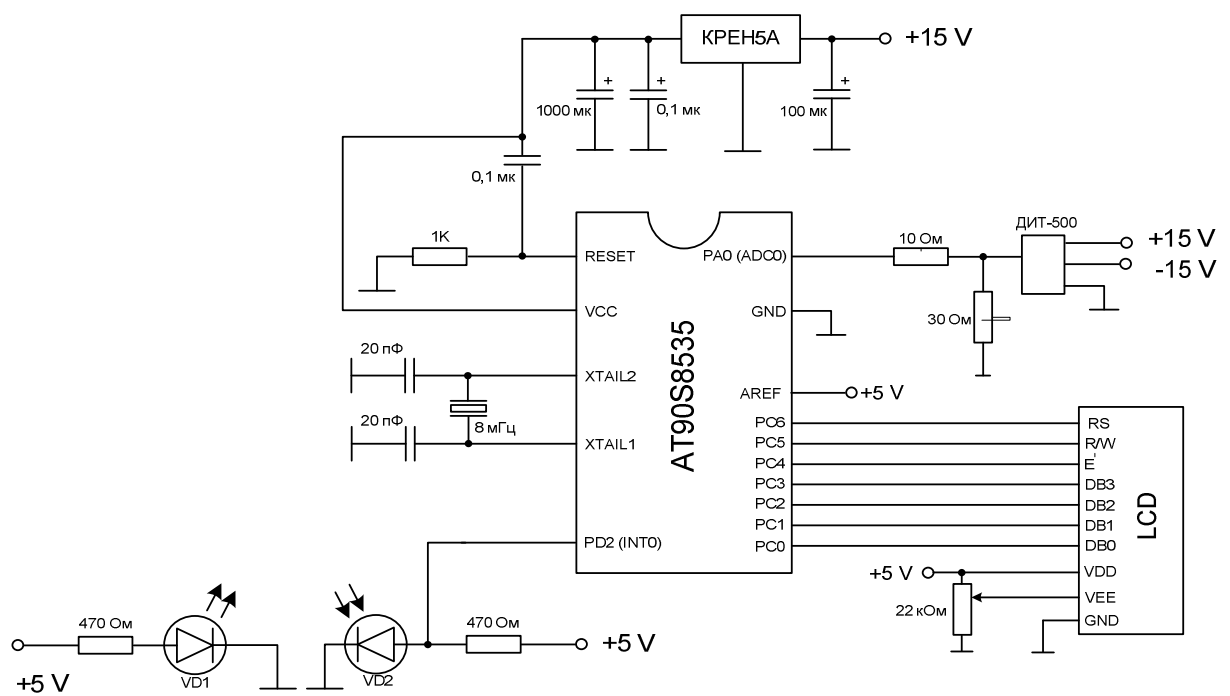


Рисунок 2.7 - Приклад функціонування пристрою для оцінки спеціальних режимів накопичення електродвигуна.

Висновки цього розділу

1. Для перевірки технічного стану колектора тягового двигуна постійного струму складається схема роботи пристрою та відповідна схема підключення.
2. Для оцінки технічного стану колектора тягового двигуна постійного струму створено структуру приладу.
3. Для перевірки технічного стану генераторів постійного струму розроблено ефективні алгоритми та конструкції мікропроцесорних пристроїв. Мікропроцесорні пристрої побудовані з високою швидкістю, високою точністю вимірювань, а їх реалізація не вимагає великих фінансових витрат.

3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СТРУКТУРИ ПРИБОРУ, ЩО ОЦІНЮЄ ТЕХНІЧНИЙ СТАН ПІДШИПНИКОВОГО ВУЗЛА В ТЯГОВОМУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІ ПО РІВНЮ ВІБРАЦІЙ

3.1. Математична модель

Гармонійний аналіз Фур'є може легко представити складні сигнали. Ця програма дозволяє аналізувати вібрацію об'єктів. Аналіз сигналу передбачає розбиття сигналу на синусну та косинусну гармоніки за допомогою перетворення Фур'є. Сума цих гармонік утворює модульований сигнал.

Тому вібраційний сигнал виражається як вібрація в часі, яку можна отримати наступним чином [10, 12, 34, 35].

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos(\omega t) + a_2 \cos(2\omega t) + \dots + a_k \cos(k\omega t) + \dots + b_1 \sin(\omega t) + b_2 \sin(2\omega t) + \dots + b_k \sin(k\omega t) + \xi(t), \quad (3.1)$$

Одиницями амплітуди вібрації є: $a_0, a_1, a_2, a_k, b_1, b_2, b_k$

ω - Розрахувати частоту обертання ротора тягових електродвигунів.

k - Кількість гармонійних одиниць;

$\xi(t)$ - Спеціальний елемент білого шуму не має сенсу.

Рівняння (3.1) можна переписати так:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t) + \xi(t), \quad (3.2)$$

Гармонічна амплітуда визначається відношенням відповідних коефіцієнтів ряду Фур'є за відомою формулою [10, 34].

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(k\omega_1 t) dt, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (3.3)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(k\omega_1 t) dt, \quad k = 1, 2, \dots, \quad (3.4)$$

Де перші цифрові канали? $\omega_1 = \frac{2\pi}{T} = \omega$

Рекомендується перевіряти технічний стан вузла тягового двигуна трамвая за коренем квадратним з амплітудної характеристики вібрації. Знаходимо середнє квадратичне значення волатильності за період T .

$$x_{сер.кв} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}, \quad (3.5)$$

Його можна зменшити таким чином, використовуючи рівняння Парсваля та властивість зворотного повернення [135].

$$x_{сер.кв} = \sqrt{\frac{a_0^2}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k^2 + b_k^2)}, \quad (3.6)$$

З урахуванням рівнянь (3.6), (3.3) і (3.4) Мазо описує математичну модель першої частини системи, яка визначає конкретне положення підшипників тягового двигуна трамвая залежно від рівня вібрації.

На практиці, використовуючи рівняння (3.6), число гармонік не вважається нескінченним і обмежується критичним рівнем гармонік, що не перевищує 20.

Похибка може бути визначена шляхом порівняння середнього значення отриманої амплітуди вібрації з еталонною амплітудою, а значення, що перевищує еталонну амплітуду, можна порівняти, щоб визначити, де похибка [45]. ,

3.2. Синтез структури пристрою для оцінювання технічного стану підшипникового вузла

При розробці пристрою для оцінки технічного стану блоків двигунів за ступенем вібрації використовувалися еталонні коди, які мають суттєві переваги при зборі та обробці даних. Для цього потрібно використовувати цифрові та аналогові інструменти. Зрозуміло, що для оцінки технічного стану монтажного блоку необхідно визначити конструкцію пристрою за допомогою вимірювань, які потребують великої кількості значень амплітуди коливань.

Усе це дуже ускладнює машинобудування. Тому для оцінки технічного стану двигуноустановки достатньо визначити будову машини за допомогою математичного апарату, що складається з набору чисел. Цей механізм такий же загальний, як і традиційні машинні мови, але його продуктивність ближча до послідовних мов. Крім того, в прогресивних мовах набагато легше переходити безпосередньо від деталей до структури.

Враховуючи складність структури пристрою, наведемо приклад процесу впорядкування для нерегулярних параметрів із третім порядком амплітуди коливань.

Використовуйте три тригери, щоб змінити різні рівні вібрації. Для визначення значення амплітуди кожного коливання використовуються рівняння:

A_1, A_2 і A_3 позначені символами. Отже $\overline{A_1}, \overline{A_2}, \overline{A_3}$, це означає, що амплітуда вібрації нижча за відповідний рівень вібрації.

На малюнку 1 T_2 і T_3 є факторами, які контролюють параметри при порівнянні першої, другої та третьої стадій.

Оскільки листові блоки повинні по-різному реагувати на вібрацію, τ_1 посилення τ_4 наведено на основі τ_{2T1}, τ_{3T2} і $T_3 \tau_6$. $\tau_5, \tau_3 \in \tau_5$ репрезентативним значенням тривалості імпульсу, який використовується в роботі пристрою відображення τ_2 , і τ_4 часом відпочинку перед початком наступного робочого циклу системи τ_6, τ_1

$+ \tau_1 = \tau_3 + \tau_4 = \tau_2, \tau_5$ де τ_0 робочий цикл τ_0 системи дорівнює τ_6 .

τ_4, T_5 і T_6 .

Оскільки машина повинна працювати циклічно (довжина циклу визначається часом інтеграції), ми подаємо сигнал R для оновлення всіх приводів і запуску нового циклу.

Відповідна змінна $y = 1$ відповідає поведінці блоку керування (наявності вхідного сигналу). Інакше $y = 0$.

З огляду на це, робоча схема пристрою оцінки позиції кнопки показана на рис. 3.1.

Продуктивність приладу можна описати в інструкції, щоб визначити технічний рівень аналізу.

$$P \vdash \bar{T}_1 \bar{T}_2 \bar{T}_3 \bar{T}_4 \bar{T}_5 \bar{T}_6, RA_1 \bar{T}_1 \vdash T_1, RA_2 \bar{T}_2 \vdash T_2, RA_3 \bar{T}_3 \vdash T_3,$$

$$\tau_1 T_1 \bar{T}_4 \vdash T_4, \tau_3 T_2 \bar{T}_5 \vdash T_5, \tau_5 T_3 \bar{T}_6 \vdash T_6, \tau_2 T_1 T_4 \vdash \bar{T}_1 \bar{T}_4 (3,7)$$

$$\tau_4 T_2 T_5 \vdash \bar{T}_2 \bar{T}_5, \tau_6 T_3 T_6 \vdash \bar{T}_3 \bar{T}_6, T_1 \bar{T}_4 \vee T_2 \bar{T}_5 \vee T_3 \bar{T}_6 \vdash y,$$

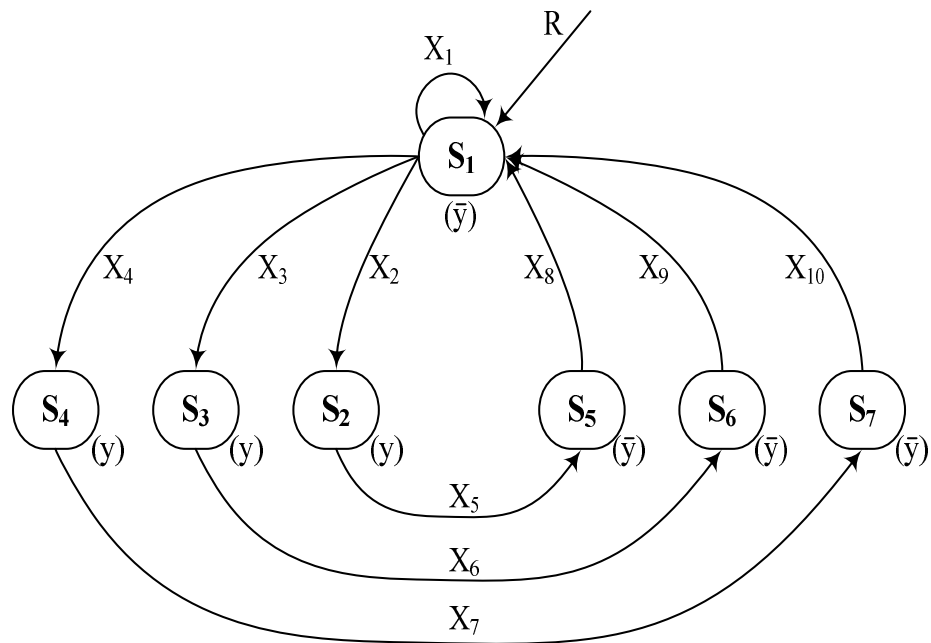


Рисунок 3.1 – Схема обробки для оцінки технічного стану моделі в залежності від рівня вібрації.

Формула (3.7) визначає математичну модель роботи різних частин машини для визначення конкретних умов і рівнів вібрації моделі.

На основі отриманої математичної моделі (3.7) складається механічна схема для оцінки технічного стану моделі в залежності від рівня вібрації. Першим кроком процесу є створення структурованого зображення за допомогою методу послідовної обробки (3.7). Кожній послідовності, що працює в паралельному циклі, присвоюється код, який відповідає комбінації кодів у лівій частині послідовності та використовується для передачі виходу паралельного циклу. Через діодну матрицю

Якщо код стану для бістабільного елемента з правого боку послідовності не повертається, та сама операція зв'язування виконується з правого боку бістабільного елемента. При інвертуванні коду режиму вхід паралельної схеми з'єднується з інвертуючим входом двійкової комірки.

Діаграма за формулою (3.7) зображена на рисунку. 3.2.

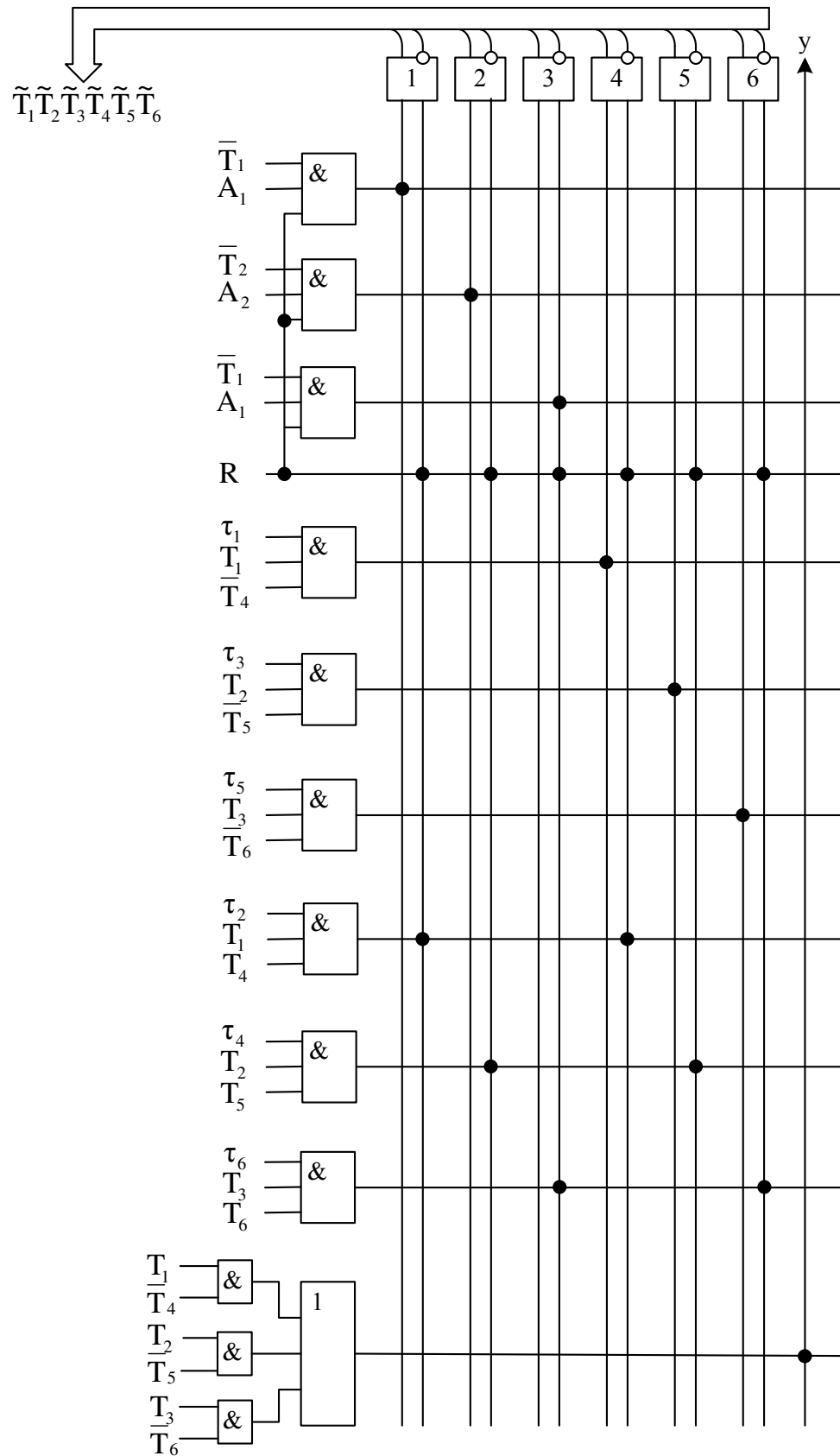


Рисунок 3.2 – Функціональний приклад пристрою, який аналізує сталий стан підшипника по відношенню до рівня його вібрації

Кожен діод у схемі відповідає послідовності в матриці. Відкриття діода на малюнку позначено крапкою.

Кожен стовпець цієї матриці відповідає одній із реалізацій бістабільного елемента. Вказує комбінацію умов, що використовуються для паралельної роботи вхідних бістабільних елементів. $\tilde{T}_1\tilde{T}_2\tilde{T}_3\tilde{T}_4\tilde{T}_5\tilde{T}_6$ Змінні $\tilde{T}_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ можуть $\bar{T}_i$ приймати значення T_i .

3.3. Розробка синтезованої структури

Щоб визначити конкретне положення ліжка, на основі вибору, зробленого в другій частині конструкції пристрою, робоча схема пристрою збирається у спосіб, придатний для його реалізації.

Для цього спочатку змінюємо операційну програму, показану на малюнку 3.2, і замінюємо з'єднання елементів на діодні матриці та прямі з'єднання. Отримана структура показана на малюнку 3.3.

Завдання на час $\tau_1 - \tau_6$ На цьому зображенні його було замінено через затримки зарядки. Сполучник (О) замінюється елементом «і» («ПО»).

Давайте перетворимо це на структуру, яку легко реалізувати за допомогою структури елементів. Також додаємо елементи для обробки вхідного сигналу відповідно до математичної моделі (3.6). Крім того, щоб порівняти технологічний рівень моделей, необхідно сфотографувати пристрій, що складається з двох підшипників, враховуючи, що конфігурація пристрою така, як показано на рис. 3.3. Відповідно до вищевикладеного будова пристрою виглядає наступним чином: 3.4.

На рисунку: 1, 51 - датчики вібрації ВД встановлені в першому і другому корпусах підшипників відповідно. 2, 52 - Маркування тиску Р 3, 53 - Тестування обладнання та зберігання небезпечних відходів. 4, 54 – аналого-цифровий АЦП 5, 8, 24, 37, 55, 58 – прибіл. 6, 56 - Очний блок. 7, 10, 13, 26, 38, 46, 49, 57 - споріднені елементи «і». 9, 12, 17, 30, 32, 45, 48 - форсований тип G 11, 14, 18, 22, 31, 35, 39, 47, 50 - бінарна модель СТ2. 15, 16, 25, 40, 43, 44 - FI Stack Seeds. 19, 41 - підходить елемент «Ні». 20, 42 - список РГ. 27 - номер машини СС обертання

ротора двигуна. 21, 23, 28, 34, 36 - активний переклад FR. 29, 33 - Цифровий додаток.

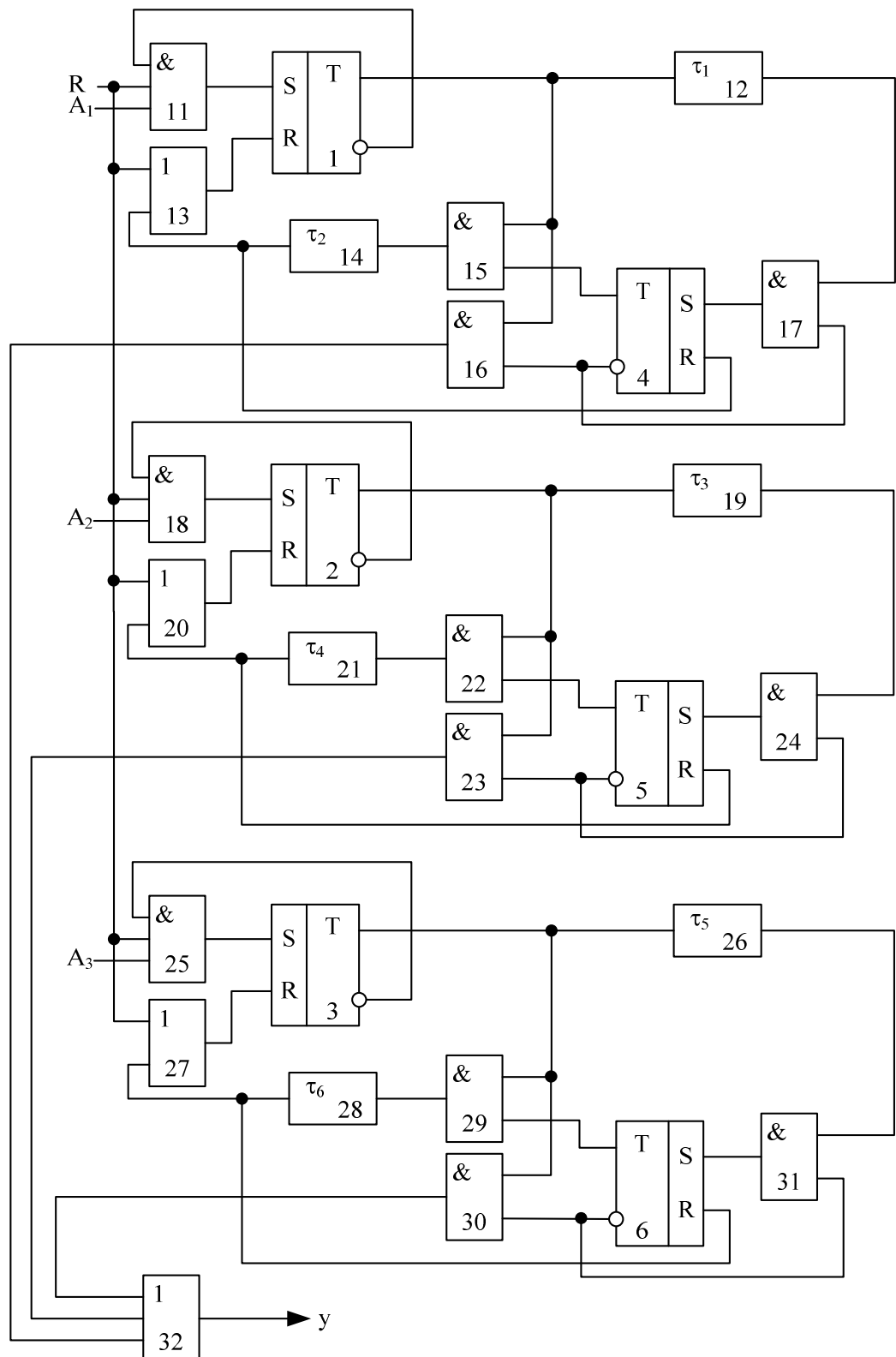


Рисунок 3.3 – Конфігурація пристрою для визначення конкретного положення ліжка після перетворення

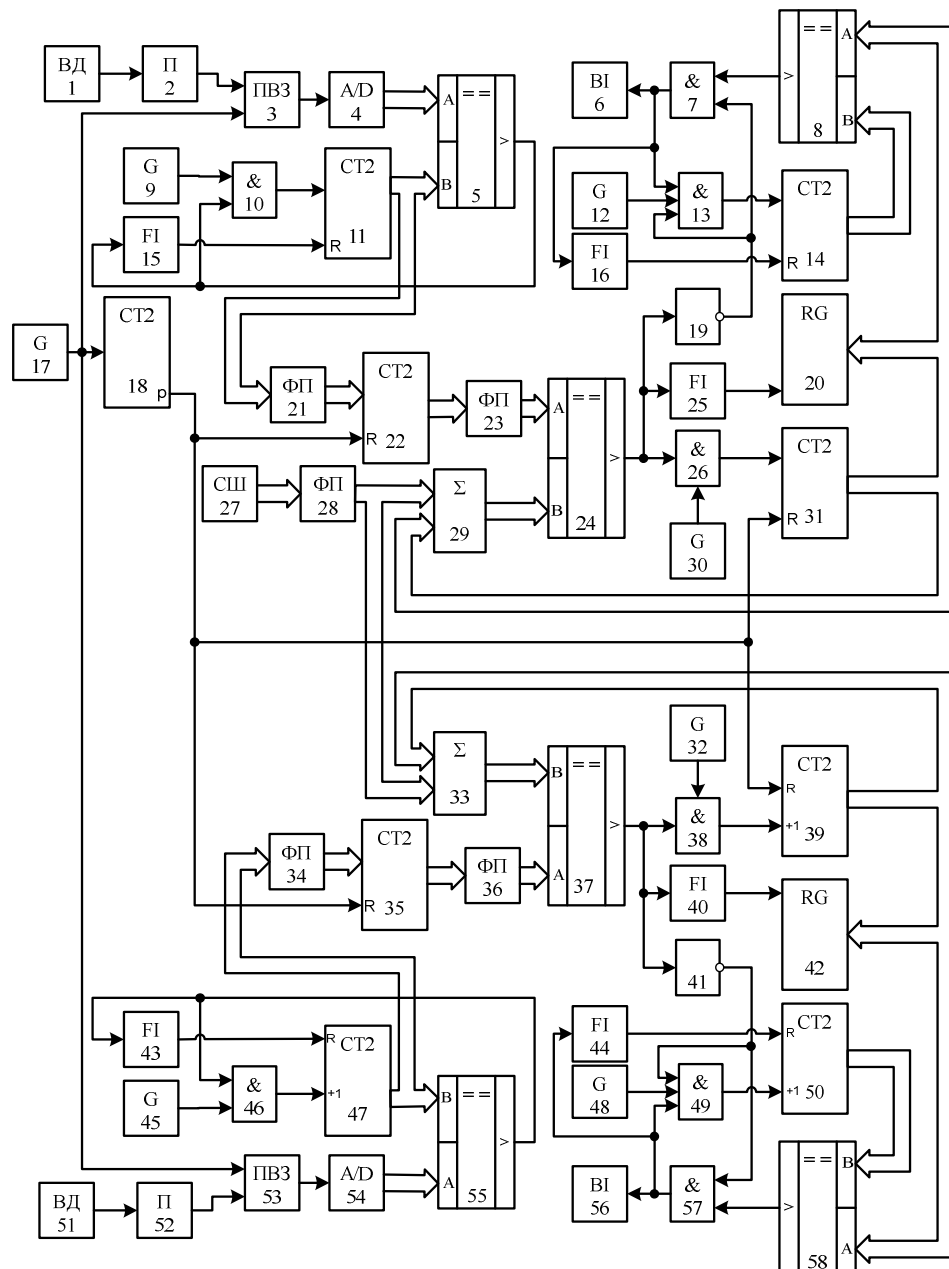


Рисунок 3.4 - Схема приладу для оцінки особливих умов підшипників, встановлених на елементах серійного виробництва.

Оскільки цей пристрій складається з двох частин (двох підшипників) з однаковим принципом дії, опишіть функцію однієї з них. Після установки 2 сигнал від датчика вібрації (1) надходить на перший вхід (3) пробореєструючого пристрою, а на другий вхід надходять імпульси від генератора імпульсів (17). Відбірно-реєструючий елемент для відбору сигналів від датчиків вібрації. Фаза дискретизації визначається частотою генератора імпульсів (17). Вихідні сигнали

від дискретних і запам'ятовуючих пристроїв надсилаються на вхід 4 АЦП і на вихід за допомогою рівняння 5.

Коли сигнал надходить на перший елемент рівняння 5, під час роботи генерується спеціальний одиничний сигнал, елемент 10 позначається та підключається до електрода 9 другого входу для контролю часу релаксації між імпульсами, що вводяться в рівняння 5. Кількість імпульсів має дорівнювати амплітуді імпульсів.

Імпульс від генератора (9) надходить на двійковий лічильник (11) через логічний елемент (10). Коли на виході лічильника 11 використовується значення амплітуди імпульсу, отриманого від компаратора 5, формується порожній сигнал. Це має якесь відношення до цього. , , Закрито на виході компаратора 5. Після запису значення в лічильник 22 функція перетворювача 21 перетворює отримане на вхід значення в квадрат. Двійковий лічильник 22 скидається на 0 під час робочого циклу. Ця частина періоду робочого циклу схеми контролюється двійковим лічильником 18, який забезпечує спеціальний одиничний сигнал на виході "Р" після зчитування (і оновлення) необхідної кількості імпульсів з імпульсу 17. , досягає 0 і починається новий цикл.

Тому двійковий лічильник 22 діє як суматор і обчислює зведене в квадрат значення амплітуди імпульсу, що надходить на вхід за один раунд циклу. Функція перетворення 23 перетворює вхідний сигнал у корені. Таким чином, середнє квадратичне значення амплітуди вібрації протягом одного циклу роботи отримують з виходу функції перетворення (23). Рівняння 24 використовується для порівняння цього значення з максимальним базовим значенням вібрації. Опорне значення отримується з виходу функції 28 перетворювача, причому вихід перетворювача 27 частоти підключений до входу функції 28 перетворювача. Якщо середнє значення амплітуди вібрації перевищує еталонне значення, сигнал логічної одиниці генерується на виході рівняння 24, елемент елемента 26 відображається, і генератор 30 імпульсів підключається в іншому концептуальному додатку. Елемент 26. При розкритті елемента 26 імпульси від генератора 30 надходять на вхід 31 двійкового лічильника, а вихід номер 29 підключається до другого входу приставки. Додавання числа 29 додає цей символ. Амплітуда еталонних коливань на виході суматора сигналу в 29 разів перевищує

квадрат значення джерела. 24. На виході лічильника формується 0. Тепер значення більше, ніж контрольне значення амплітуди вібрації, збережене в двійковому лічильнику 31. Логічний 0 формує сигнальний імпульс 25i на виході компаратора 24. Використовуйте код редактора коду 1. Відкрити логічні елементи 7 і 13 в регістрі 20 і логічному елементі 19. Вихідний сигнал двійкового лічильника 31 записується в регістр 20 і подається на перший вхід рівняння 8. Це як на малюнку. Як показано на малюнку 8, сигнал генерується в логічний блок через відкритий елемент 7 і надходить на екран блоку 6. Екран 6 реагує на відображення вхідного сигналу, і тривалість відповіді змінюється безпосередньо відповідно. Далі: двійковий код (14) зчитує імпульси з виходу генератора імпульсів (12) через логічний елемент (13).

Якщо двійкове число 14 зчитує необхідну кількість імпульсів і два вихідних сигнали компаратора 8 рівні, то на виході компаратора 8 буде згенерований правильний сигнал, і пристрій відображення та двійковий пристрій перестануть відповідати. Рейка, 16 скидів з 14 лампочками двигуна. Цикл закінчується. Таким чином, екран не тільки реагує за межі прийнятного діапазону, але також показує наведені вище значення з точки зору часу відгуку. Цих сигналів достатньо, щоб водії трамваїв перевірили стан установки. Крім того, рівень вібрації можна визначити більш точно, отримуючи інформацію з 20 регістрів, які фіксують все, що перевищує допустимі значення амплітуди вібрації.

Частини схеми 32-58 працюють таким же чином і контролюють стан другого сигналу.

3.4. Мікропроцесорна реалізація пристрою

Оцінюючи стан опорних з'єднань у середньому діапазоні вібрацій, неможливо визначити локалізацію та максимальний рівень дефектів. Якщо як доказ необхідно визначити точне місце розташування дефекту, корисно розглянути амплітуду першої гармонічної пари вібраційного сигналу. Амплітуди гармоній визначаються відповідними відношеннями коефіцієнтів ряду Фур'є згідно з рівняннями (3.3) і (3.4). Аналізуючи подібні характеристики та висоту, що сприяє, можна з високою точністю ідентифікувати додаткові джерела вібрації.

Наприклад, як конкретні дефекти в структурі вібраційного сигналу впливають на виникнення, які дефекти пов'язані з виникненням конкретних гармонік і значення конкретних гармонік. На основі отриманих тестових даних мікроконтролер програмується в режим діагностики.

Схема пристрою для оцінки технічного стану верстатів за рівнем вібрації наведена на рисунку 3.5.

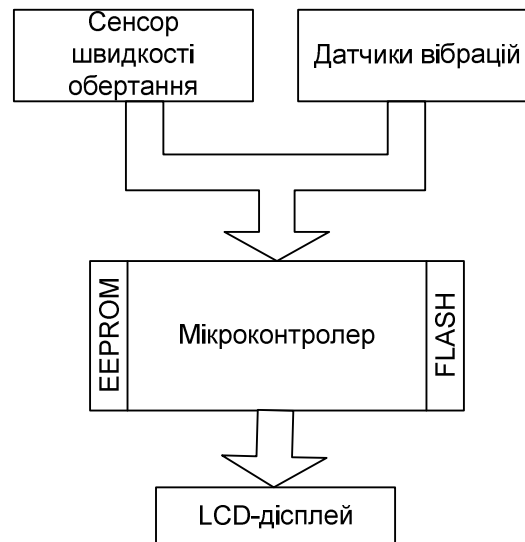


Рисунок 3.5 – Конфігурація обладнання для оцінки загального стану електродвигунів-генераторів залежно від рівня вібрації.

Алгоритм обробки оцінки технічного стану агрегату двигуна залежно від рівня вібрації наведено на рисунку 3.6 [21].

На основі мікроконтролера ATMEL AT90S8535 і пам'яті EEPROM . Напруга на землю +5В. Монтажний вузол оснащений датчиками вібрації на обох шинах, які виявляють вібрацію в підшипниках. Ця напруга (до 5 В) подається на аналоговий вхід АЦП, встановленого в мікроконтролері, і перетворюється в спеціальне цифрове число, відповідне амплітуді коливань підшипника. Ротор двигуна налаштований на відображення світла від діода VD1 (AL107 А). Світло відбивається і висвітлюється фотодіодом VD 2 (FD-K-155) , який подає дійсний сигнал на мікроконтролер через перетворювач K155LA1. Таким чином можна визначити швидкість обертання пристрою.

Мікроконтролер використовує сигнал датчика вібрації та визначає першу амплітуду, тобто 10-ту гармоніку, відповідно до (3.3) і (3.4). Після аналізу отриманих результатів, якщо необхідно, на РК-екрані (HD 44780) відображається

повідомлення, яке вказує на неприйнятні вібрації в зразку та причину цих вібрацій . Використання цих пристроїв показано на рисунку 3.7 [20-23].

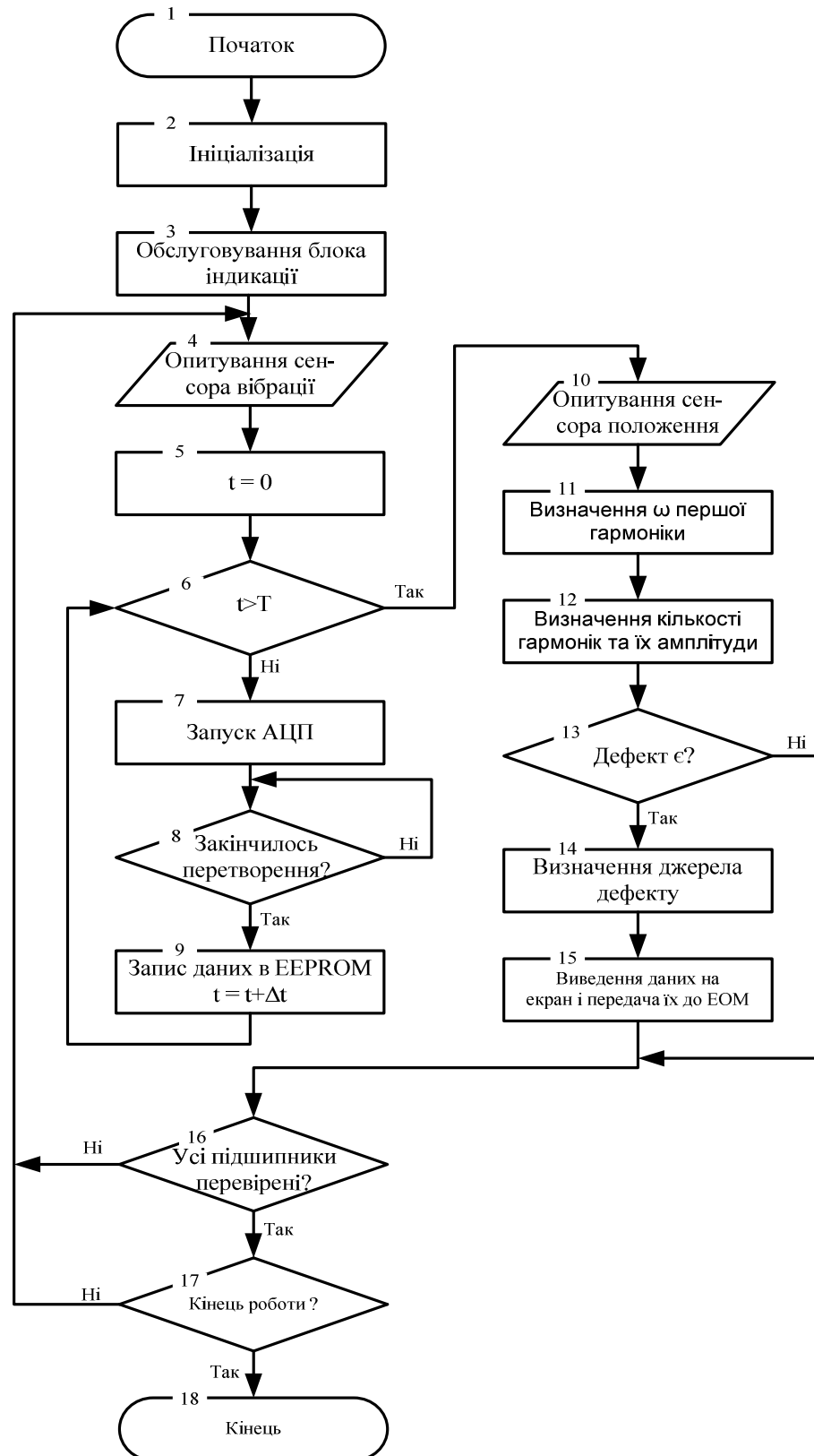


Рисунок 3.6 – Алгоритм роботи приладу для оцінки технічного стану блоку двигуна автомобіля в залежності від рівня вібрації.

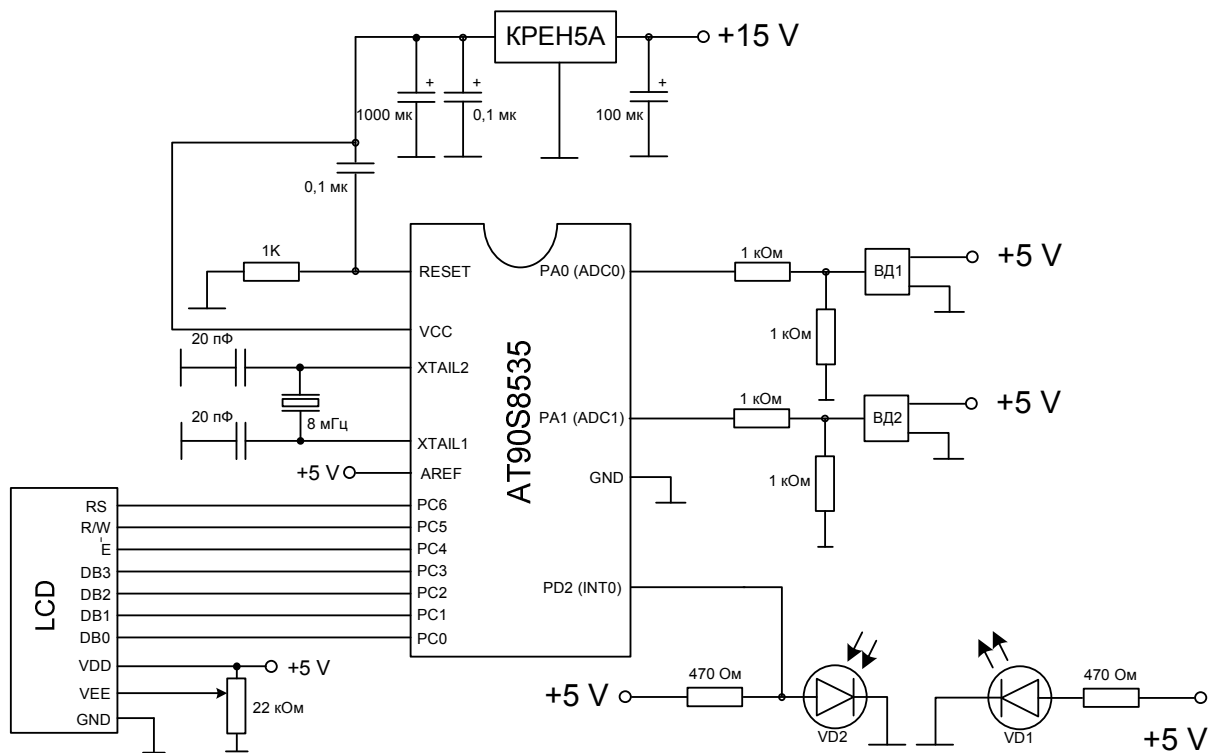


Рисунок 3.7 - Електрична схема пристрою для оцінки конкретного стану блоку кріплення електродвигуна в залежності від рівня вібрації.

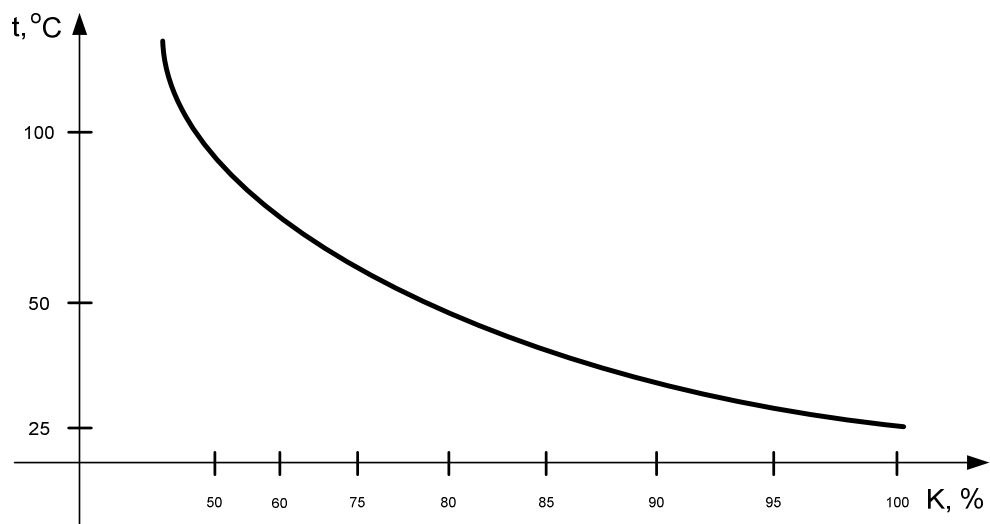
Висновки цього розділу

1. Випробувана модель придатна для оцінки технічного стану блоку двигуна.
2. Підібрати відповідні математичні засоби для оцінки технічного стану двигуна та інтегрувати їх у структуру пристрою.
3. На основі математичної моделі створити структуру пристрою для оцінки конкретного стану опорного блоку двигуна автомобіля в залежності від рівня вібрації. Цей інструмент дозволяє в будь-який момент оцінити технічний стан ваших підшипників.
4. Показано реалізацію пристрою перевірки технічного стану блоку двигуна в залежності від ступеня вібрації за допомогою монокристалічного мікропроцесора AT90S8535.

4. ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗІ СТРУКТУРОЮ ПРИСТРОЮ, ЩО ВИЗНАЧАЄ ЯКІСТЬ ТЕРТЯ ЗМАЩУВАННЯ ДЛЯ ПІДШИПНИКОВОГО ВУЗЛА ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

4.1. Математична модель

Автори досліджень [6, 25] показали, що температура підшипника залежить від кількості масла в підшипнику. Підстилка добре забезпечена, температура близько 20 градусів. Залежності показано на рисунку 4.1.



Залежить від кількості масла в $X(\%)$.

Залежності, показані на рисунку 4.1, є лише прикладами. Кожен електротранспорт має свій вид транспорту та технічні умови, тому неможливо з однаковою точністю встановити розміри та температуру транспорту. Якість мастила. Щоб встановити ці співвідношення для конкретних параметрів конкретного електромобіля, необхідно провести експерименти, щоб встановити співвідношення для різних температур. Кореляції можна обчислити зі стандартних кривих, щоб отримати аналітичний вигляд, який можна використовувати безпосередньо для цих розрахунків. Зрозуміло, що з часом ця залежність змінюється, оскільки під час роботи системи в мастило проникають металеві домішки, що впливає на температуру підшипників і якість змащення.

Конкретний приклад, показаний на рисунку 4.1, використовується для ілюстрації того, як розробити числову модель для оцінки якості мастила для автомобільних компонентів.

При ручному заповненні агрегату маслом ви не можете заповнювати більше ніж 90% вільного об'єму агрегату, тому ви повинні вимірювати від 50 до 90%. Коли вміст олії перевищує 50%, температура починає швидко зростати. Це означає, що електродвигун необхідно негайно вимкнути і знову використовувати монтажний пристрій.

Дивлячись на графік, показаний на малюнку 4.1, значення від 50-го до 90-го процентиля можна обчислити за допомогою простої залежності форми:

$$X = \frac{a}{b + t}, \quad (4.1)$$

Статистичний аналіз коефіцієнтів дозволяє об'єднати два рівняння і два невідомих за допомогою граничних умов .

$$\begin{cases} 50 = \frac{a}{b + 95}; \\ 90 = \frac{a}{b + 35}, \end{cases} \quad (4.2)$$

Спільна робота дасть вам:

$$\begin{cases} a = -40; \\ b = 2750. \end{cases} \quad (4.3)$$

Тому спочатку криву, зображену на рисунку 4.1, можна порівняти з гіперболічною залежністю.

$$X = \frac{2750}{t - 40}, \quad (4.4)$$

Однак якщо ми підставимо $t = 65$ у рівняння (4.4), то отримаємо:

$$X = 110, \quad (4.5)$$

Це означає, що помилка на наступному кроці ($X = 75$, $t = 65$).

$$\Delta X = \frac{110 - 75}{75} \cdot 100\% = 46,7\%, \quad (4.6)$$

Це неприйнятно, тому ми отримуємо криву, показану як парабола на малюнку 4.1.

$$X = at^2 + bt + c, \quad (4.7)$$

А В і С можна отримати шляхом скорочення наступних рівнянь за допомогою методу найменших квадратів [6, 12, 25].

$$\Sigma = \sum_{i=1}^n (X - X_i)^2 = \sum_{i=1}^n (at_i^2 + bt_i + c - X_i)^2, \quad (4,8)$$

Тобто отримуємо таке рівняння:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Sigma}{\partial a} = 0; \\ \frac{\partial \Sigma}{\partial b} = 0; \\ \frac{\partial \Sigma}{\partial c} = 0. \end{cases} \quad (4,9)$$

Стосовно (4.9), ось приклад оцінки якості системи. Я не задоволений цим рішенням, оскільки використання методу квадратного кореня не є поширеним і включає все встановлене програмне забезпечення. (4.7) Може знадобитися використання лубрикаторів А, В, СІ, таких як частотний аналіз .

4.2. Синтез структури пристрою для оцінювання якості змазки підшипникового вузла за рівнем температури

Інтегрована система відображення сигналів використовується при розробці пристроїв для оцінки якості змащення двигуна і теплової якості. Як відомо, цифрові пристрої використовуються для обробки різних сигналів. Крім того, спостережувані параметри вище прийнятних значень температури повинні бути отримані для створення структури підсистеми.

Усе це дуже ускладнює машинобудування. Тому достатньо створити структуру підсистеми, яка перевірятиме стан і рівень температури головної машини трамвая за серійним номером приладу. Це настільки ж широко, як і конкретна мова програмування, але представлення мови програмування більш схожі. Крім того, в прогресивних мовах набагато легше переходити безпосередньо від деталей до структури.

На основі цього проекту пристрій оцінки якості мастила для накопичувальних блоків електродвигунів повинен інформувати оператора про поточний стан і погіршення мастила підшипників в залежності від рівня

температури. Залежно від характеру класифікації температура шкіри визначає ступінь змазування і пошкодження. У першому абзаці йшлося про побудову математичної моделі. На підставі цієї інформації водій повинен вирішити, чи використовувати транспортний засіб далі. Враховуючи складність структури підсистеми, наведено приклад послідовного процесу нестандартного підшипника з трьома значеннями температури. Використовуйте рівняння для визначення кожного значення температури. Використовуйте три тригери, щоб досягти трьох різних температур.

Перший, другий і третій порівнюються з T_1 , T_2 і T_3 . Так що $\bar{t}_1$ це для шоу і $\bar{t}_2$ нічого зайвого. $\bar{t}_3$

t_1 , t_2 , t_3 - визначає перше, друге та третє порівняння. Припустимо, що батарея має 3, 4 або 5 гарячих точок у t_1 , t_2 та t_3 відповідно. Від цього залежить кількість мастила підшипників. Затримка та зсув $\tau_2 T_4$ використовуються для передачі цього імпульсу в систему як сигнал Y . Також τ_1 активуйте T_5 , T_6 , T_7 , T_8 , T_9 , щоб запам'ятати ваш пульс під час розрахунку. Ми також представили тригери із затримкою T_{10} , які скидають усі тригери після завершення τ_3 . Оскільки система повинна працювати циклічно, ми вводимо сигнал q для початку нового циклу в системі.

Враховуючи це, потужність системи показана на рис. 4.2.

Нижче наведено більш детальний опис роботи системи аналізу випадків.

$$t_1 \vdash T_1 T_4, \quad t_2 \vdash T_2 T_4, \quad \text{чому } t_3 \vdash T_3 T_4, \quad \tau_2 T_5 (T_1 \bar{T}_7 \vee T_2 \bar{T}_8 \vee T_3 \bar{T}_9) \vdash T_4,$$

$$\tau_1 T_4 \vdash \bar{T}_4,$$

$$T_4 \vdash T_5 \quad (4.10)$$

$$\tau_1 \tau_2 T_4 T_5 \vdash T_6, \quad \tau_1 \tau_2 T_4 T_5 T_6 \vdash T_7,$$

$$\tau_1 \tau_2 T_4 T_5 T_6 T_7 \vdash T_8,$$

$$\tau_1 \tau_2 T_4 T_5 T_6 T_7 T_8 \vdash T_9,$$

$$\tau_1 \tau_2 (T_1 T_7 \vee T_2 T_8 \vee T_3 T_9) \vdash T_{10},$$

$$\tau_3 T_{10} \vdash \bar{T}_{10},$$

$$T_{10} \vdash \bar{T}_1 \bar{T}_2 \bar{T}_3 \bar{T}_4 \bar{T}_5 \bar{T}_6 \bar{T}_7 \bar{T}_8 \bar{T}_9,$$

$$T_4 \vdash Y,$$

Якщо код статусу бістабільного елемента з правого боку послідовності не повертається, вихід того самого зв'язку з'єднується з входом з правого боку бістабільного елемента. При інвертуванні сигналу рівня вхід паралельної схеми з'єднується з інвертуючим входом біполярного елемента.

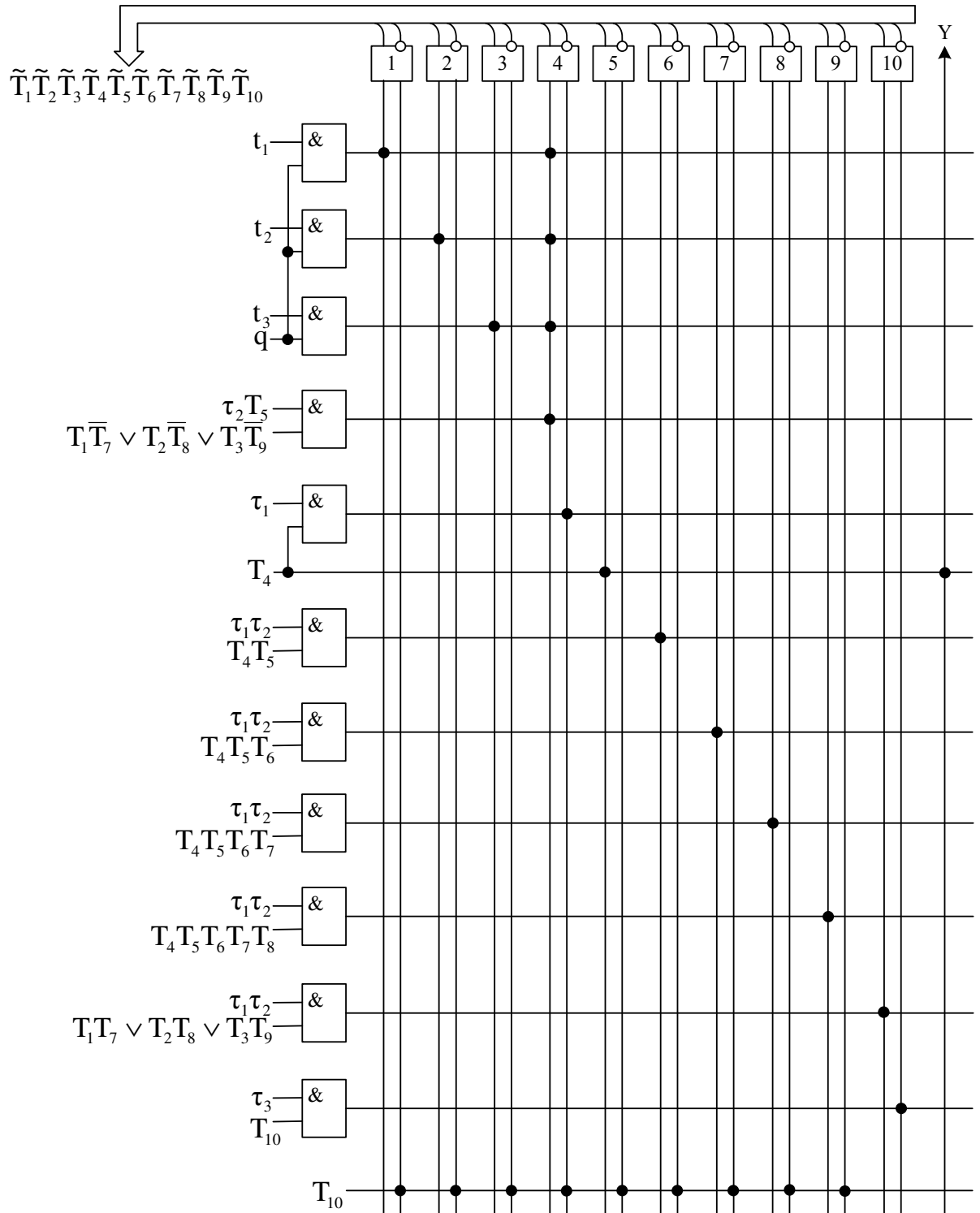


Рисунок 4.3 - Приклад функціонування пристрою для оцінки якості мастила за високою температурою.

Програма, розроблена на основі рівняння (4.10), показана на малюнку. 4.3.

Бали користувача та призи нараховуються у відповідних іграх. Кожен діод у схемі відповідає послідовності в матриці. Відкриття діода на малюнку позначено крапкою. Кожен стовпець цієї матриці відповідає одному виходу бістабільного елемента. Ця функція $\tilde{T}_1 \tilde{T}_2 \tilde{T}_3 \tilde{T}_4 \tilde{T}_5 \tilde{T}_6 \tilde{T}_7 \tilde{T}_8 \tilde{T}_9 \tilde{T}_{10}$ являє собою комбінацію умов, що використовуються в паралельних схемах бістабільних елементів. Змінні $\tilde{T}_i (i = 1, 2, \dots, 10)$ можуть $\bar{T}_i$ приймати значення T_i .

4.3. Розробка синтезованої структури

На другому етапі пристрій налаштований на оцінку ефективності системи змащення при підвищених температурах, щоб робочу програму пристрою можна було налаштувати на систему, придатну для роботи.

Для цього спочатку змінюємо робочу програму, показану на рис. 4.3, змінюючи з'єднання елементів через пряме з'єднання з діодною матрицею.

Отримане зображення показано на рисунку 4.4.

Завдання на час $\tau_1 - \tau_3$ На цьому зображенні його було замінено через затримки зарядки. Сполучник (О) замінюється елементом «і» («ПО»).

Ми використовуємо каркас структурних елементів, щоб перетворити середовище в структуру, придатну для реалізації. Також для перевірки якості змащення необхідно намалювати автомобіль з двома шинами, враховуючи, що будову машини можна побачити на рисунку 4.4.

Враховуючи це, діаграма архітектури виглядає так, як на зображенні нижче. 4.5

Ці позначення використовуються на рисунку 4.5: 1, 10, 32 - датчик температури ДТ. Виміряйте температуру першого шару, температуру навколишнього середовища та другого шару. 2, 11, 33 - модель PWZ і захисні елементи. 3, 12, 34 - АЦП 4, 15, 23, 35 - прибіл. 5, 8, 17, 21, 29 - Примусове землеробство. 6, 16, 24, 30 - Елементи елемента «і». 7, 18, 26, 31 - двійковий лічильник СТ2. 9, 25 - пакет щіток FI. 13 - трансляція функції FP. 14, 22 - Цифрова експансія. 19, 27 - список РГ. 20, 28 - Блок індикації.

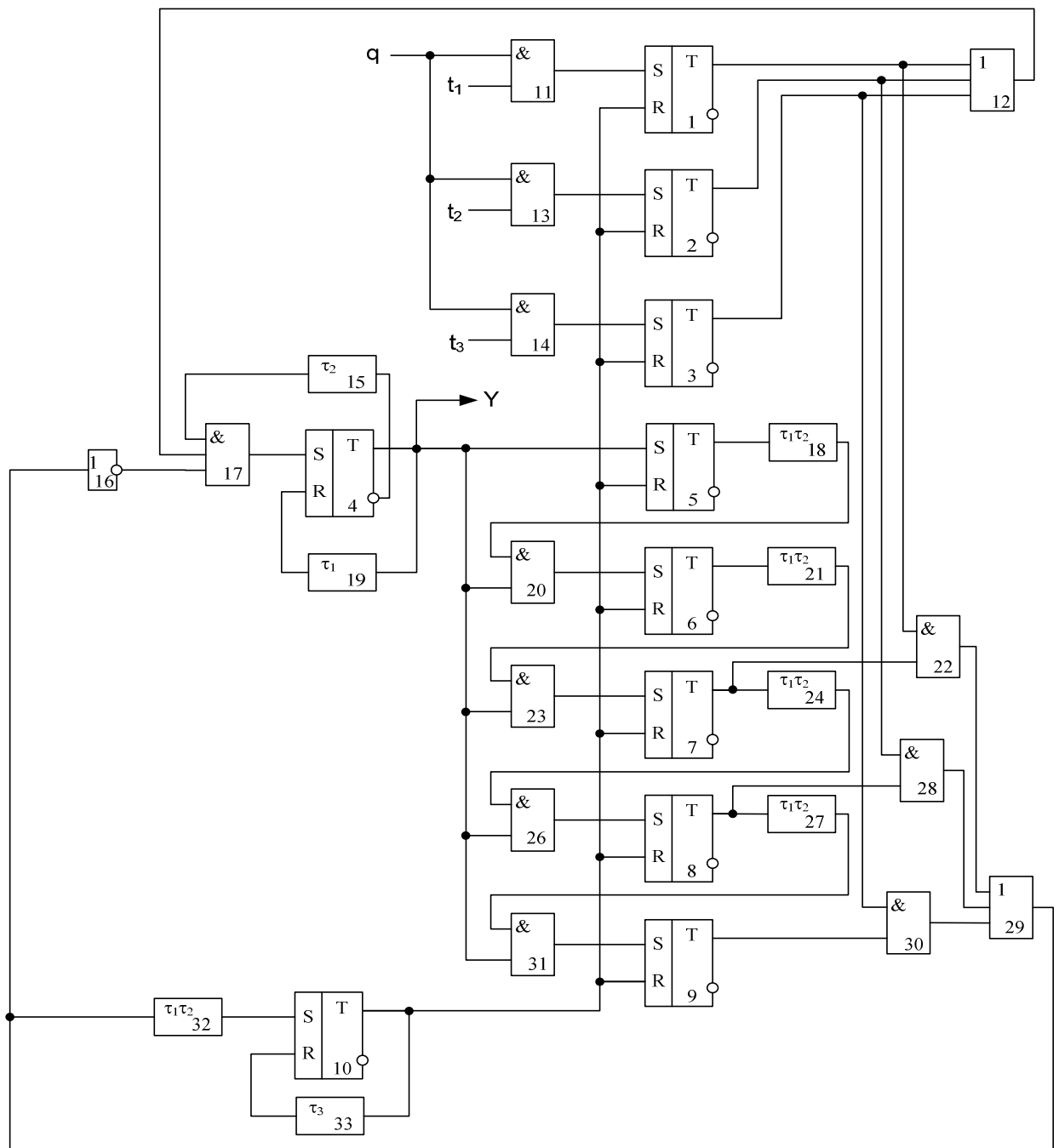


**Рисунок 4.4 Конфігурація обладнання для перевірки якості
мастильних матеріалів після переобладнання**

Оскільки цей пристрій складається з двох частин (двох підшипників) з однаковим принципом дії, опишіть функцію однієї з них. На перший вхід контрольно-реєструючого пристрою (2) надходить сигнал від радіатора охолодження (1), а на другий вхід надходять імпульси від входу (8) пристрою. Вхідна потужність 8 визначає використання пристрою. Кожного разу, коли з

імпульсного входу надходить 8 імпульсів, миттєве значення температури отримується з виходу вибірки та зберігається як 2. Це значення використовується як вихідний сигнал АЦП 3 і подається на компаратор 4. Відібрані та записані елементи методом вибірки. Сигнали від датчика вібрації та частини зразка залежать від величини електричного поля (17). Частота дискретизації та сигнали зберігання подаються в програму ADC 4. Це перший член у рівнянні в пункті 5.

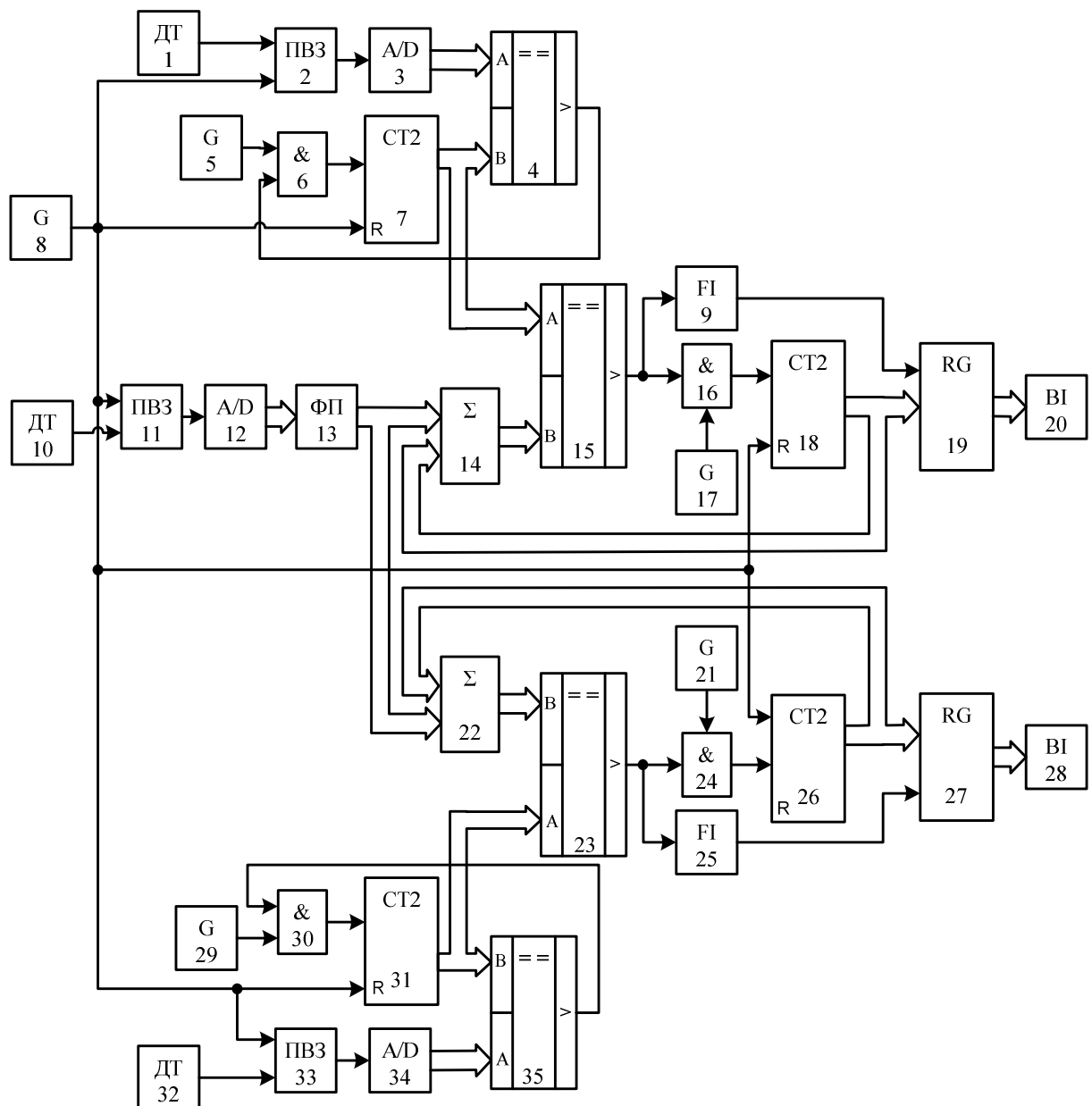


Рисунок 4.5 – Конструкція пристрою для оцінки якості мастила багатоступневих деталей.

У першому застосуванні рівняння 4 при отриманні сигналу на виході генерується відповідний єдиний сигнал, відображається елемент 6, а генератор 5 імпульсів підключається до другого входу. Лічильник 5 формує серію імпульсів, що відповідає значенню першого вхідного сигналу лічильника 4. Після формування потрібного значення на виході лічильника 7 на виході рівняння 4 формується сигнал. Коли починається новий цикл 7 (8, коли надходить новий імпульс від серця), двійкові параметри скидаються.

Порівняйте значення, зафіксоване вимірювачем 7, з еталонним значенням температури за допомогою рівняння 15. Опорне значення отримується з виходу функції 13 перетворювача, вихід 12 АЦП підключений до входу 13 функції перетворювача, елементи вибору та збереження підключені до входу 11, перша дія полягає у використанні коду. Для сигналу генератора імпульсів 8 і другого входу, сигналу датчика зовнішньої температури 10, ділянки 10-12 схеми аналогічні ділянкам 1-3. Коли значення температури оператора перевищує контрольне значення, на виході рівняння формується спеціальний одиничний сигнал і елемент 16 відкривається, а при відкритті елемента 16 генератор імпульсів 17 підключається до другого входу. . , рупія Як показано на малюнку 10, імпульс генератора імпульсів 17 надходить у двійковий регістр 18, функція якого відповідає другому входу 14 накопичувача.

Акумулятор 14 додає цей сигнал до опорного значення до тих пір, поки вихідний сигнал акумулятора 14 не зрівняється зі значенням робочої температури першого входу. Цей розрахунок виконується на виході 15. У цей час двійковий лічильник реєструє температуру більше 18. У функції калькулятора сигнал логічного 0 змушує генератор імпульсів 9 виводити сигнал 1 за допомогою регістра 19. Значення сигнального двійкового лічильника 18, отримане в результаті операції, записується і записується в регістр 19. Блок відображення 20 завжди представляє останнє значення, записане в регістр 19, і відображення вимірюється. Перевірте якість масла, що залишилося в баку. За допомогою дисплея водії електромобілів можуть легко перевірити стан змащення блоків шин.

Частина схеми 22-35 працює так само і контролює стан другого індикатора.

4.4. Мікропроцесорна реалізація пристрою

Для оцінки якості мастил блокових вузлів встановлено мікропроцесорну машину. Це, разом з іншими пристроями, допомагає складним мікропроцесорним системам відчувати потужність трансмісії автомобіля.

Архітектура мікропроцесорного блоку наведена на рисунку 4.6.

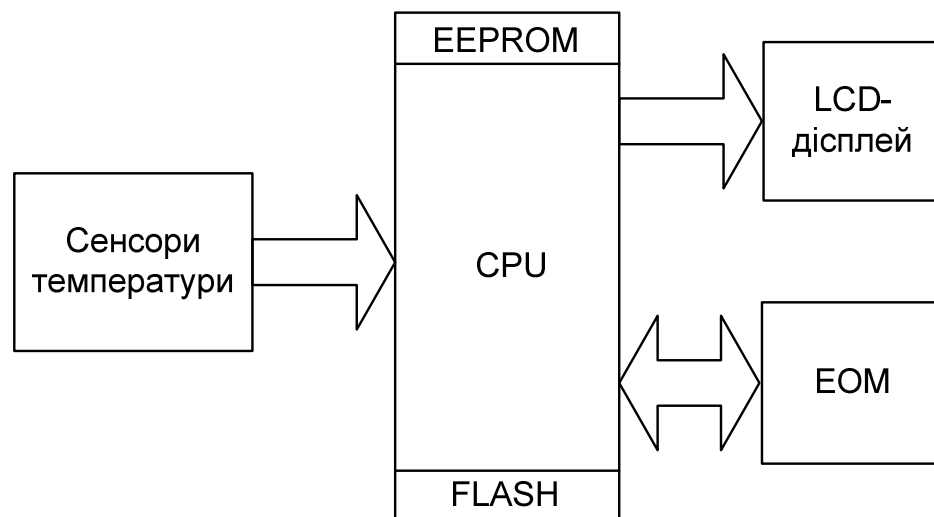


Рисунок 4.6 Конструкція мікропроцесорного пристрою для оцінки якості мастила в трансмісійному обладнанні.

Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою для оцінки якості мастила операторського пристрою наведено на рисунку 4.7 [6, 12, 33].

Для реалізації мікропроцесора за алгоритмом, показаним на рисунку 4.7, ми рекомендуємо використовувати мікроконтролер ATMEL 90 S 8535 має енергонезалежну пам'ять EEPROM і заземлення +5 В.

Обидві шини мають датчики тепла, які виявляють тепло, отримане комплектом.

Для вимірювання температури навколишнього повітря необхідно використовувати спеціальний термометр. Напруга з термодатчика (до 5 В) надходить на аналоговий вхід АЦП, підключеного до мікроконтролера, і перетворюється в спеціальні цифрові числа. Мікроконтролер використовує сигнали від датчика температури та контролює якість мастила підшипників

відповідно до математичної моделі. Ця інформація відображається на РК-екрані (HD 44780), а також на вашому комп'ютері чи зовнішній пам'яті для подальшого використання та зберігання . Принципова схема мікропроцесора показана на рисунку 4.8 [12, 24, 25].

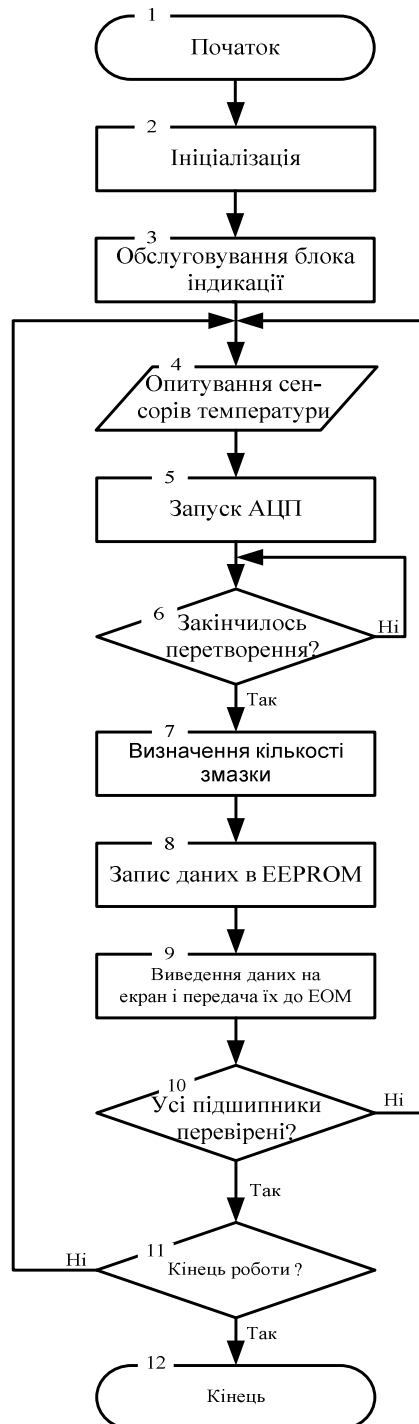


Рисунок 4.7 - Алгоритм за допомогою мікропроцесора для оцінки якості мастила в складальних комплектах.

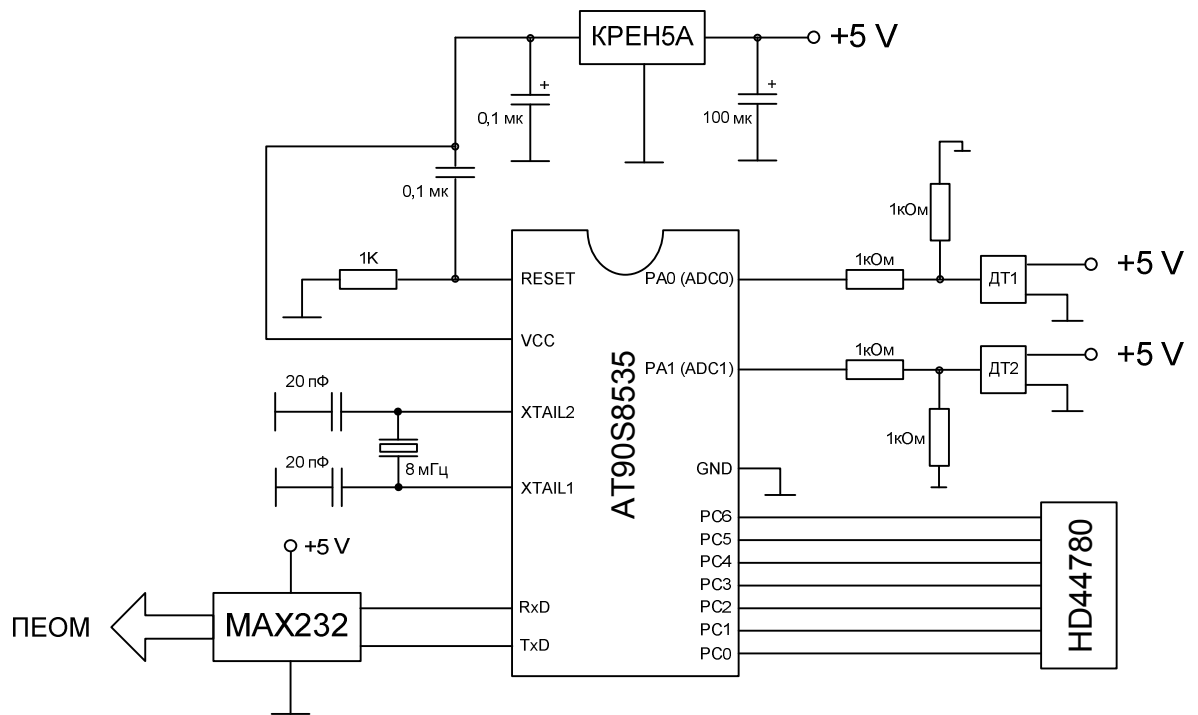


Рисунок 4.8 - Принципова схема електричного контролю мікропроцесорного пристрою для оцінки якості мастила в установленому пристрої

Висновки цього розділу

1. Наведено алгоритм побудови відповідної математичної моделі для оцінки якості мастильних матеріалів підшипників коробки передач двигуна та розглянуто приклади отримання та перевірки.
2. Для визначення якості мастила підшипників тягового двигуна підібрано та представлено технологічні пристрої, придатні для інтеграції в структуру машини.
3. Для оцінки якості змащування опорних блоків натяжного пристрою на основі математичної моделі створено конструкцію пристрою.
4. Розробка алгоритмів та мікропроцесорних програм для оцінки якості мастильних матеріалів механічного обладнання.

5. Установчу конструкцію можна використовувати безпосередньо під час тестування електромобіля або сидіння. За допомогою цього інструменту ви можете в будь-який час перевірити якість мастила в підшипниках.

5. МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З ПОСТІЙНИМ СТРУМОМ

5.1. Рекомендації щодо застосування запропонованих мікропроцесорних пристроїв в систему діагностування

Використання мікропроцесорної технології в системі проектування або управління дозволяє системі виконувати додаткові функції, окрім її основних функцій, наприклад збір, зберігання, обробка та передача інформації про проектування або контроль матеріалів. Сьогодні основною частиною будь-якої моделі або керуючого пристрою є мікроконтролер, комп'ютер або персональний комп'ютер.

Мікропроцесорна технологія дозволяє легко змінювати алгоритми системи за допомогою програмного забезпечення за потреби без великих фінансових чи виробничих витрат.

Система реалізована за допомогою мікропроцесорної технології, яка є надійною та ефективною, легко адаптується до різних умов експлуатації та може комбінуватися при необхідності.

Відповідно до традиційної мікропроцесорної архітектури основну увагу слід приділяти розробці архітектури та алгоритму роботи мікропроцесорної системи [12].

Реалізація мікропроцесорної системи за допомогою мікроконтролера. Ви можете використовувати пристрої Intel, Microchip , Motorola , Texas Instruments тощо, такі як мікроконтролери, Atmel, аналогові тощо [36].

В якості основи для використання мікропроцесорних систем в аналізі потужності електродвигунів рекомендується використовувати ті ж принципи, які використовуються для мікропроцесорного пристрою, розробленого в першій частині. Однак при підключенні трьох пристроїв необхідно враховувати, що електромобіль має кілька головних двигунів. Наприклад, трамваї KT4SU, які використовуються у Вінниці, мають чотири електродвигуни на транспортний засіб. Таким чином, вимірювальні процеси кожного напрямку можна об'єднати в різні числові моделі.

Важливо також відзначити, що цей пристрій використовує струм, що проходить через з'єднання між щітками та збірною коробкою для моніторингу стану збору тиску двигуна, використовуючи математичну модель як вхідну інформацію. Пристрій використовує амплітуду вібрації як параметр даних відповідно до математичної моделі для визначення тягової сили двигуна в залежності від рівня вібрації. Для визначення якості змащення електродвигунів прилад використовує температуру системи як довідкові дані відповідно до числової моделі.

Описує загальні вимоги до розробки системи аналізу потужності постійного струму. Системні вимоги:

1. Перевірте стан колектора всіх електричних ланцюгів в електричному ланцюзі та оцініть силу струму з'єднання щіток з колекторною коробкою.
2. Контролюйте рівень вібрації всіх електромобілів. Коли виявляються неприйнятні рівні вібрації, аналізуються коефіцієнти Фур'є, щоб визначити причину вібрації.
3. Контролювати якість змащування підшипників усіх тягових електродвигунів шляхом вимірювання робочої температури підшипників.

Враховуючи вищесказане, архітектура типового мікропроцесора показана на рисунку 5.1.

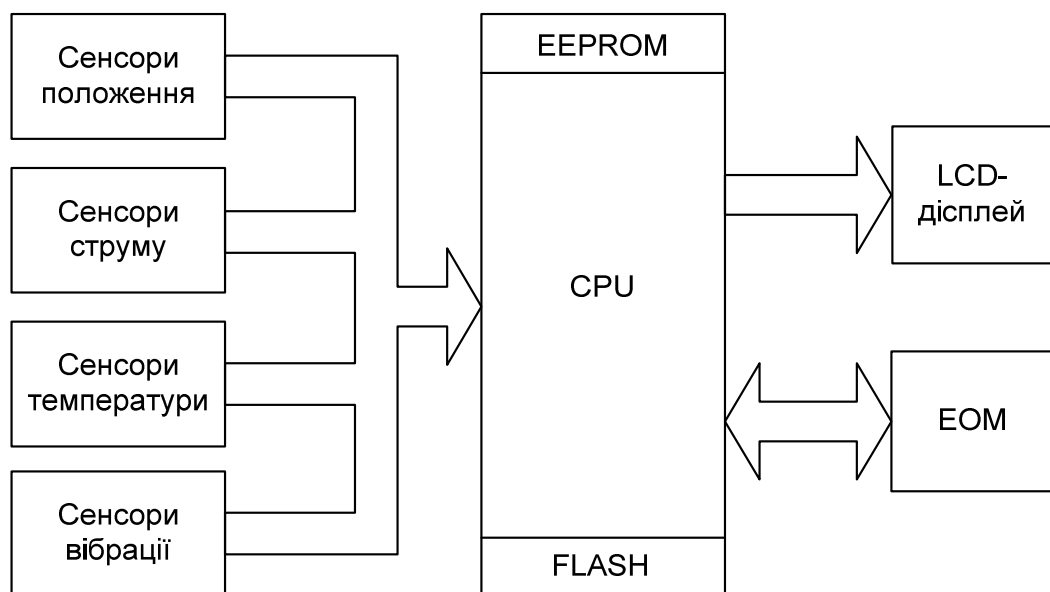


Рисунок 5.1 – Архітектура мікропроцесорної системи виявлення тягового електроприводу постійного струму.

Доцільно надати доступ до блоку комп'ютера або зовнішньої пам'яті для подальшого використання та зберігання даних, отриманих під час конкретної роботи системи.

При виконанні вправ під час аналізу електродвигуна інформація про стан об'єкта подається на основі математичних моделей, підсистем та схем конфігурації, підготовлених у першій частині. Цей струм передається в систему через вібрацію, температуру та умови. Крім того, сигнал є двійковим сигналом стану, тоді як інші пристрої надають аналогові сигнали. Зрозуміло, що вдосконалення структури даних вимагає вимірювання раптових значень від датчиків струму та вібрації. Сигнали термометра повільно змінюються з часом, тому можна вимірювати лише миттєві значення.

На базі популярного мікроконтролера Atmel AT90S8535 реалізовано систему виявлення головних електродвигунів трамвая. [36]

На рис. 5.2 показана конструкція прототипу машини.

На цій схемі використовуються такі позначення: 1 - Датчик для підключення струму між щіткою та колекторною коробкою. 2 - Датчик вібрації встановлений на першій балці двигуна. 3 - Датчик вібрації розміщений на другому індикаторі тягового двигуна. 4 - Нагрівач розташований в першій балці двигуна. 5 - Теплові двигуни розташовані в різних моделях тягових двигунів. 6 - Датчик температури навколишнього повітря. 7 - Датчик положення 8 - Стандартний переключальник. 9, 10 - Шлях. 11 - Мікроконтролер. 12 - Основний системний блок. 13 - Перетворювач сигналів. 14 - Пристрій відображення.

Робота цієї системи передбачає послідовне вимірювання сигналів від усіх датчиків 1-6 АЦП для цифрового перетворення за допомогою мікроконтролера 11, шунтового перетворювача 8 і комутатора 9. Оскільки сигнал датчика є двійковим на рівні 7, немає необхідності перетворювати його в цифровий і посилати на вхід 11 мікроконтролера через ключ 10. Блок 12 виконує функцію скидання системи.

До складу пристрою входить перетворювач сигналу 13 для підключення до комп'ютера і оптичний вузол для збільшення потужності.

Інформація, отримана від кожної програми, відображається на екрані 14 і передається на комп'ютер через програму.

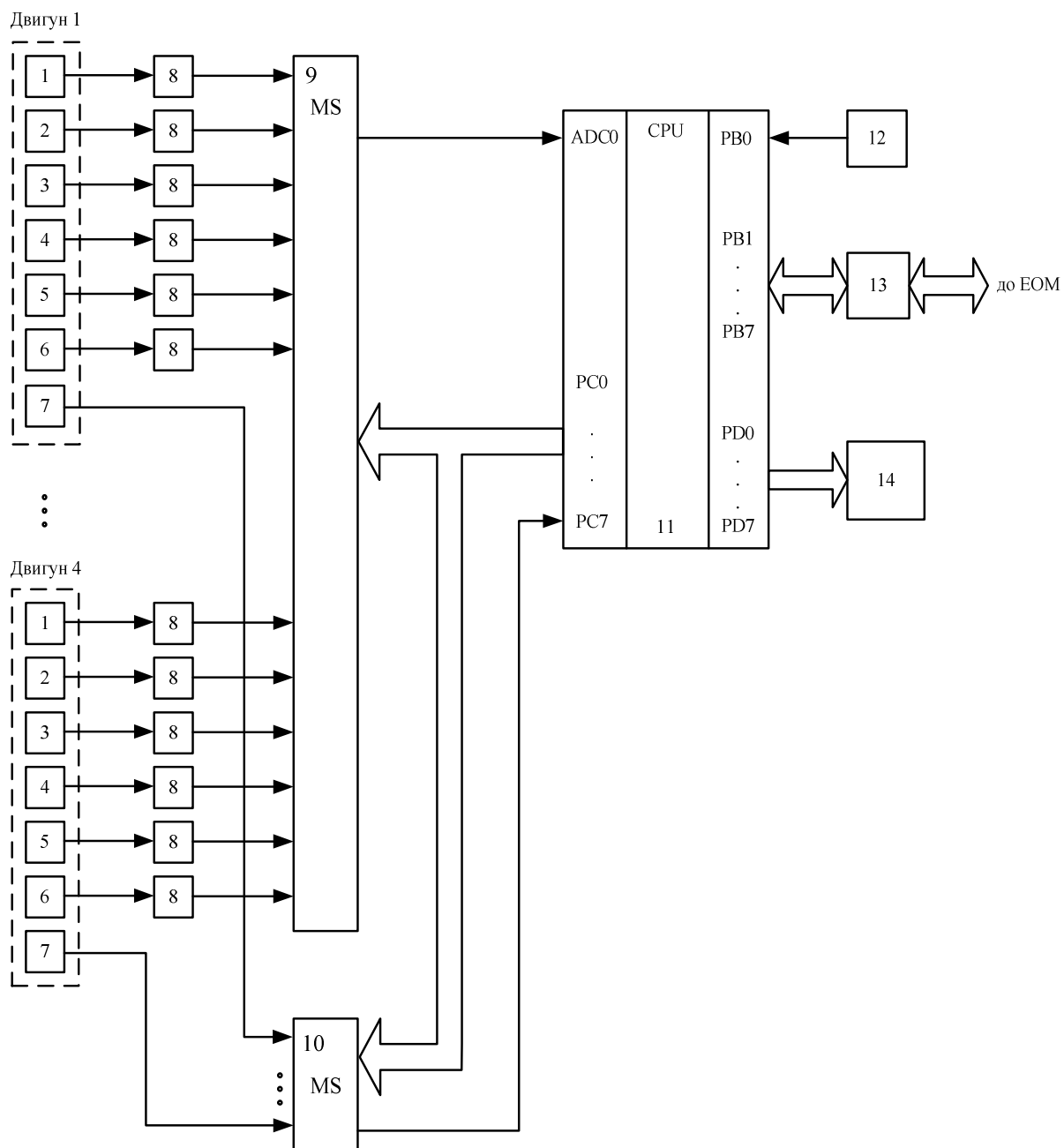


Рисунок 5.2 – Детальний проект комп’ютерної системи аналізу електромобілів з тягою постійного струму.

Алгоритм роботи мікропроцесорної системи керування тяговими електроприводами постійного струму наведено на рисунку 5.3.

Цей алгоритм включає такі елементи:

- Блоки 5-10 зчитують інформацію з датчика струму електродвигуна.
- Блоки 11-16 визначають і оцінюють команди управління.
- Блоки 18-23 зчитують дані з пристрою за допомогою датчика вібрації.

Це прилад, який послідовно перевіряє всі електродвигуни електромобіля. Після вирішення повного циклу системного алгоритму потрібно почати заново і завершити всю дослідницьку роботу.

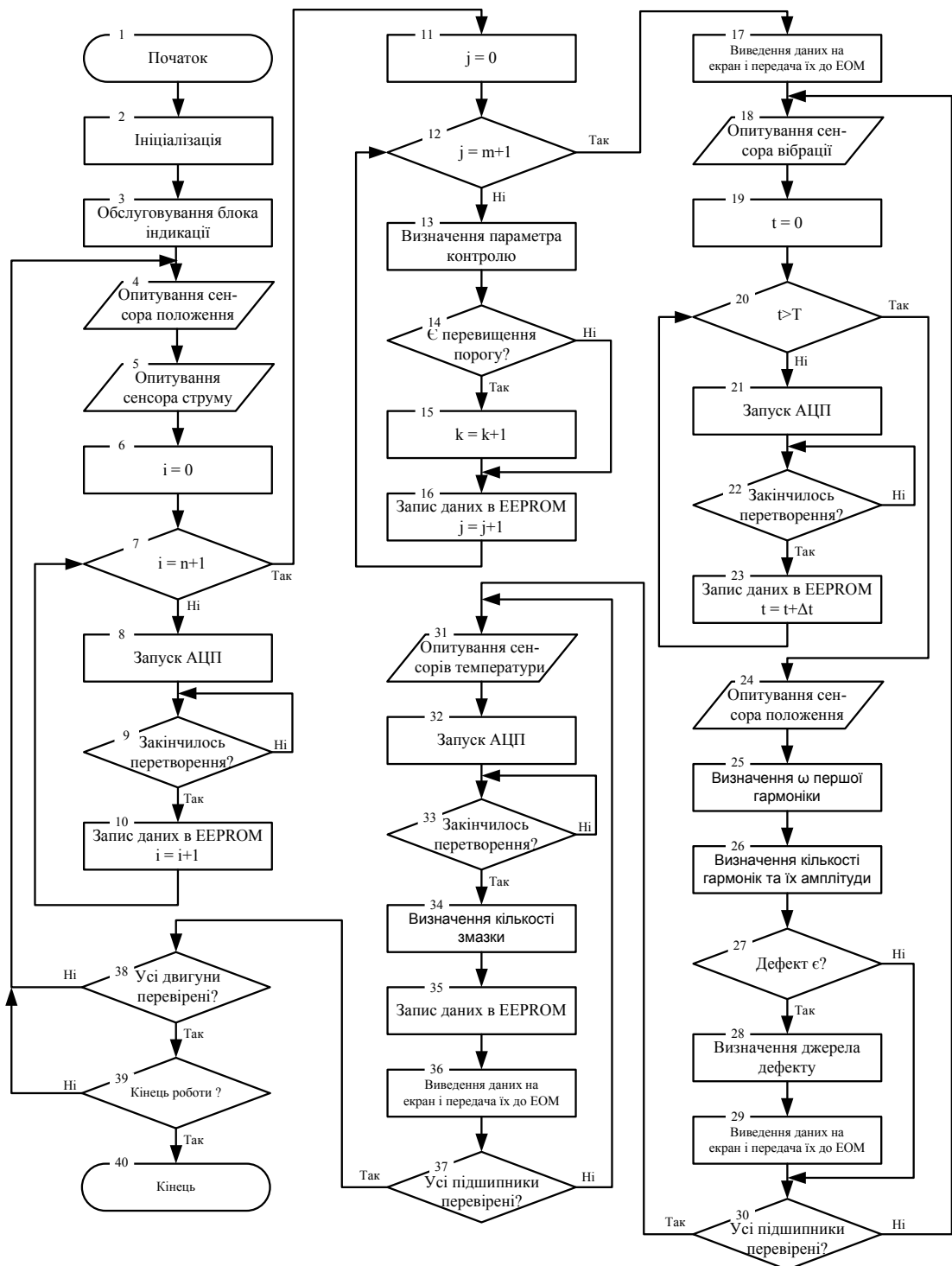


Рисунок 5.3 – Алгоритм роботи мікропроцесорної системи для електричної моделі, керованої постійним струмом.

5.2. Оцінювання помилок при визначенні інформативних параметрів, використаних в мікропроцесорних пристроях діагностування

У випадку дефекту типу 1 рішення приймається, коли дефект існує, а стан визначається, коли надійність продукту була належним чином підтверджена. Іншим типом помилки є оцінка дійсності гарантії, коли відбулося фактичне порушення.

Основною причиною помилок типу 1 і типу 2 в пристроях програмування є значення в системі управління.

Розглянемо, як оцінити похибки 1 і 2 типу на прикладі вимірювання струму через з'єднання між щіткою і струмоприймачем. Величина допуску струму електронних компонентів визначається відносною величиною і допуском [6, 24]

$$(I) \cdot \Delta \leq I_n \leq (I_n + \Delta), \quad (5.1)$$

або I - виміряний струм, I_n - діюче значення струму, Δ допустимий струм - розрахункове значення, k - коефіцієнт асиметрії допустимої ширини.

Припустимо, що математичне сподівання закону розподілу ймовірностей дорівнює прогнозованому значенню. Знайдіть значення параметрів

$$i^* = i - i_n. \quad (5.2)$$

Потім обчисліть частку допуску за такою формулою:

$$\Delta \leq \text{максимум}^* \leq \Delta, \quad (5.3)$$

Якщо несуче поле однорідне. Це означає, що очікуване значення та математична похибка $= 0$ $m_{\Delta_I^*}$. У цьому випадку $k_a = 1$ і рівень допуску тепер визначається як $\Delta \leq \text{максимум}^* \leq \Delta$,

Таким чином, електричні прилади, що вимірюють значення струму в центрі дозволеного простору, вважаються придатними для використання

відповідно до цього пункту. Електрообладнання, яке споживає струм, що перевищує допустимі межі, не має цього маркування.

Результати вимірювань виражаються як сума розрахункових значень на основі стандартного відхилення та похибки [6, 24]

$$B = i^* + i_{++} \Delta_{I^*}^{\circ} m_{\Delta_{I^*}}. \quad (5,4)$$

Припустимо, що поточний закон про розподіл електроніки є загальним.

$$P(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_I} \exp\left(-\frac{(I - \bar{I})^2}{2\sigma_I^2}\right), \quad (5,5)$$

i — виміряний струм, $\bar{I}$ — математична функція виміряного струму, σ_i — квадратний корінь із співвідношення.

Відповідно до Δ .

$$P(\Delta_{I^*}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Delta_{I^*}}} \exp\left(-\frac{(\Delta_{I^*} - \bar{\Delta}_{I^*})^2}{2\sigma_{\Delta_{I^*}}^2}\right), \quad (5,6)$$

де Δ_{I^*} - Похибка вимірювання струму $\bar{\Delta}_{I^*}$ - Математичне визначення похибки вимірювання струму $\sigma_{\Delta_{I^*}}$ - Середня квадратична похибка вимірювання струму.

Закон, пов'язаний з поточним розподілом коефіцієнтів помилок:

$$P(I, \Delta_{I^*}) = P(I)P(\Delta_{I^*}) = \frac{1}{2\pi\sigma_I\sigma_{\Delta_{I^*}}} \exp\left(-\frac{(I - \bar{I})^2}{2\sigma_I^2} - \frac{(\Delta_{I^*} - \bar{\Delta}_{I^*})^2}{2\sigma_{\Delta_{I^*}}^2}\right), \quad (5,7)$$

Графічне зображення закону розподілу струму, похибки вимірювання та співвідношення закону розподілу струму показано на рисунках 5.4-5.6.

Ці правила розподілу встановлені для наступних статистичних властивостей: $\bar{I} = 200$, $\bar{\Delta}_{I^*} = 0$, $\sigma_I = 0,85$, $\sigma_{\Delta_{I^*}} = 0,12$.

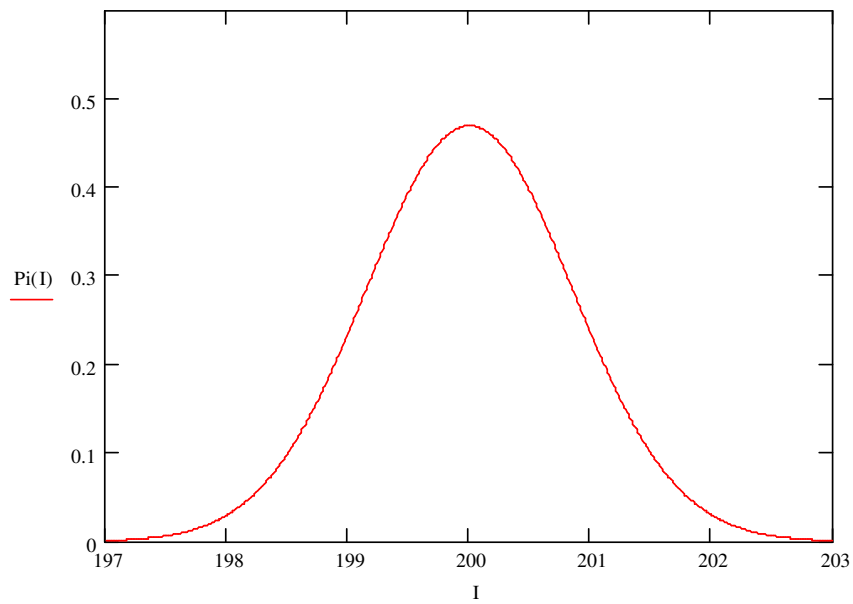


Рисунок 5.4 – Поточний дизайн правил розподілу

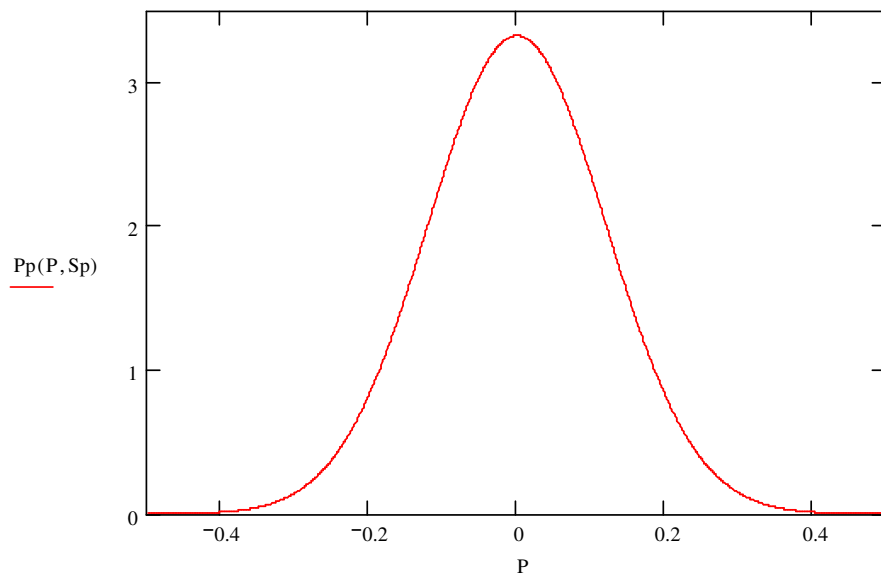


Рисунок 5.5 – Закон розподілу похибки вимірювання струму

Визначається помилка типу 1 (коли струм виходить за допустимий діапазон, але вважається таким, що знаходиться в межах заданих меж). [2, 49]

$$\alpha_I = \int_{-k_a \Delta}^{\Delta} \int_{-\infty}^{I_2^* - I} P(I, \Delta_{I^*}) d(\Delta_{I^*}) dI + \int_{-k_a \Delta}^{\Delta} \int_{I_1^* - I}^{\infty} P(I, \Delta_{I^*}) d(\Delta_{I^*}) dI, \quad (5,8)$$

Умови несправності 2 (коли струм залишається в заданих межах, але без допуску) визначено в [6, 24].

$$\beta_I = \int_{-\infty}^{-k_a \Delta} \int_{I_2^* - I}^{I_1^* - I} P(I, \Delta_{I^*}) d(\Delta_{I^*}) dI + \int_{\Delta_{I_2^* - I}}^{\infty} \int_{I_1^* - I}^{I_1^* - I} P(I, \Delta_{I^*}) d(\Delta_{I^*}) dI, \quad (5,9)$$

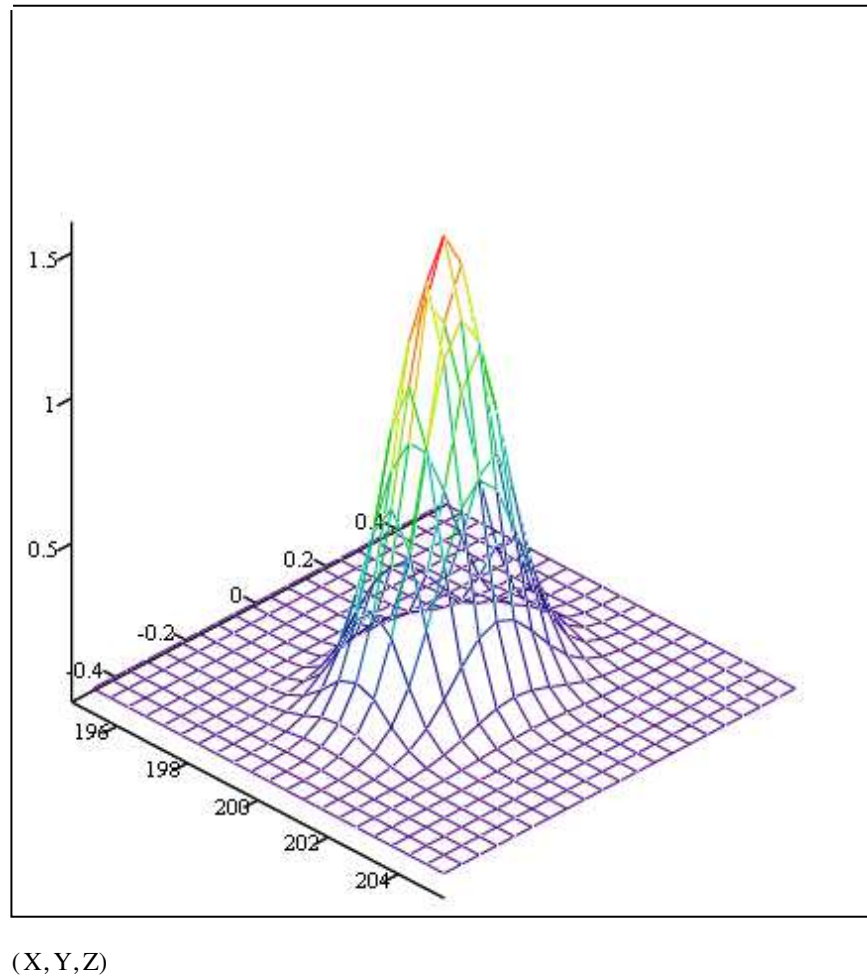


Рисунок 5.6 – Умовне зображення закону пропорційного розподілу

Параметри інтегрування вибираються з рівнянь (5.8) і (5.9).

$$I_1^* = \Delta - \bar{\Delta}_{I^*} \quad (I_2^* = -k_a \Delta - \bar{\Delta}_{I^*}) \quad (5.10)$$

Рівняння (5.8) і (5.9) розв'язували чисельно в середовищі MathCAD.

На рисунку показано залежність похибки I та II типу від середнього квадратичного. Залежно від результатів пілотного дослідження βверсії 5.7, 5.8 і вище можуть бути використані для оцінки α.

Зрозуміло, що цей метод порівняння похибок першого і другого типів може бути використаний для вимірювань амплітуд коливань і швидких вимірювань температури при роботі електродвигунів-генераторів.

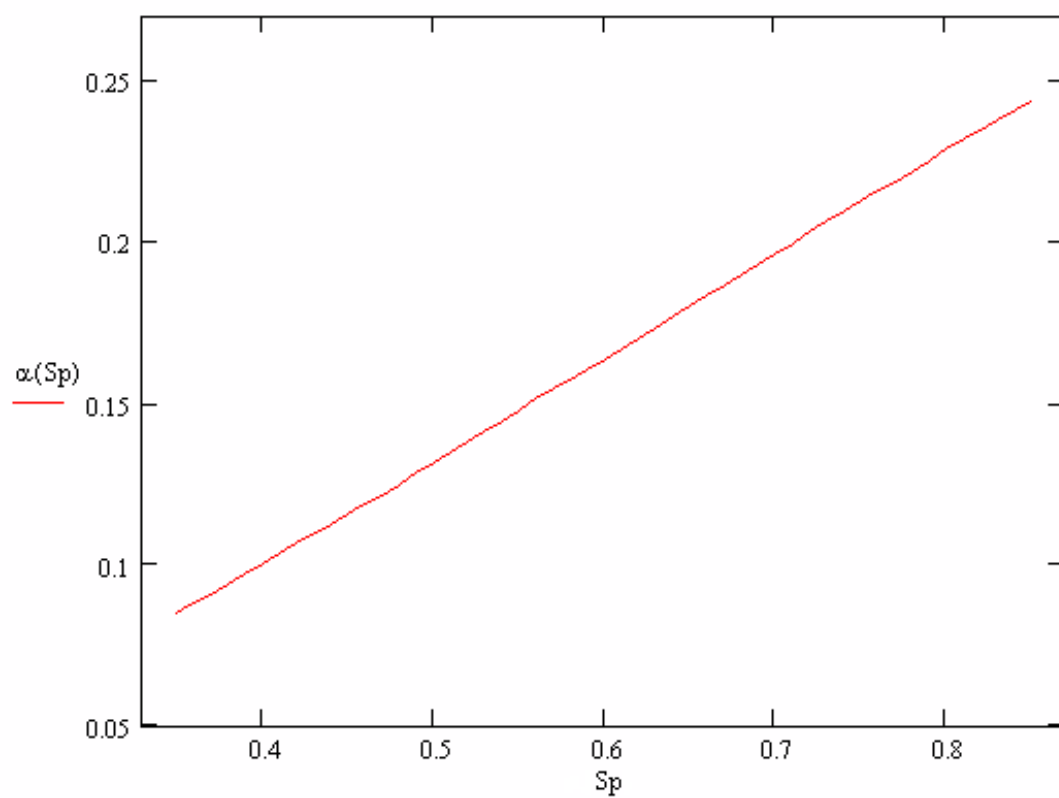


Рисунок 5.7 – Номограма помилкового судження І типу

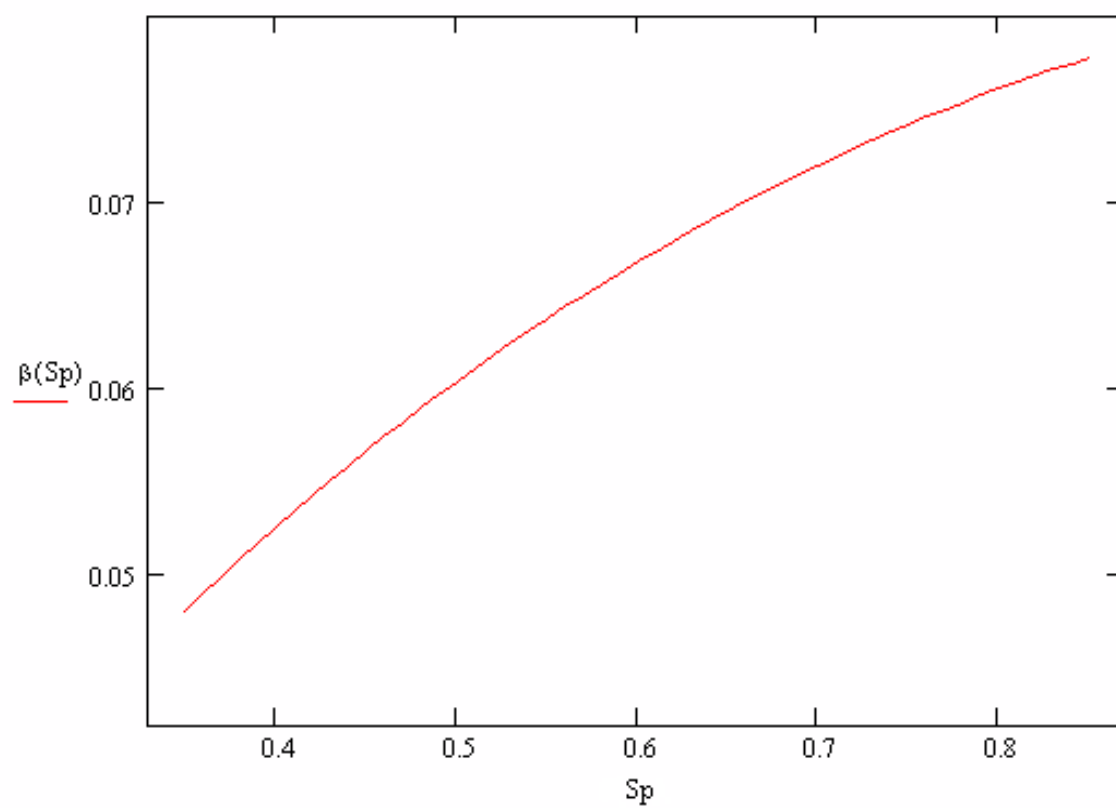


Рисунок 5.8 - Номограма для визначення дефектів 2 типу

Висновки цього розділу

1. Наведено структуру та алгоритм роботи мікропроцесорної системи аналізу магістрального електротранспорту трамвая, рівня вібрації та особливих умов головного електродвигуна постійного електровоза. Покращення Це впливає на якість змащення колектора тягового двигуна та підшипників тягового двигуна та призводить до інтеграції всіх мікропроцесорних блоків.

3. Отже, поняття вимірювання похибок струму та законів розподілу струму в електронних пристроях є загальним і є методом встановлення правильних законів розподілу та визначення похибок номограм першого та другого типів. Це можна легко розширити до інших корисних параметрів.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена розробці спеціального приладу аналізу головних двигунів постійного струму, який дозволяє за допомогою мікропроцесора оцінювати стан головного електродвигуна транспортного засобу навіть за нормальних умов.

Виконані дослідження дали такі результати.

1. Розглянуто відомі методи та пристрої для виявлення тягових електродвигунів постійного струму, що використовуються в електромобілях. Інші розробки в теорії та практиці дослідження електромобілів показують, що на шляху створення нових мікропроцесорних пристроїв діагностування та їх комплексування.

2. Математична модель, яка надає корисні вказівки для опису стану найбільш чутливих елементів тягових електроприводів постійного струму, таких як вузол двигуна та вузол прямого приводу, під час електроприводу з використанням інформації про струм у колекторі та рівень вібрації і температуру.

3. Запропоновано структуру пристрою, що використовує передові математичні інструменти та базується на математичних моделях, розроблених на основі даних, допомагає оцінити як цілісність електричної енергії, так і стан збору та керування двигуном генератора постійного струму.

4. Розроблено механічних алгоритмів та засобів діагностики тягового двигуна постійного струму.

5. Для забезпечення тяги електромобіля вбудована спеціальна мікропроцесорна система. Система оцінює умови накопичення та блокування в електротягових двигунах під час нормальної роботи на основі одночасної інформації про три корисні фактори: накопичення, рівень вібрації та температуру установки.

6. Після розрахунку використання освітлення для реального прикладу моделі тяги постійного струму для хмарного використання ми дійшли висновку, що робоча висота має становити принаймні 2,6 м. Якщо ви використовуєте лампочки, вам знадобиться всього 3 (по 2). Загальна потужність 240 Вт

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A comparison in terms of accuracy and efficiency between a MBS dynamic formulation with stress analysis and a non - linear FEA code / J. Cuadrado et al. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 2001. Vol. 51, no. 9. P. 1033–1052. URL: <https://doi.org/10.1002/nme.191> (date of access: 02.12.2024).
2. Bodnar BE, Ochkasov OB, Bodnar EB, Hryshechkina TS, Ocheretnyuk MV. Simulation of locomotive repair organization by the methods of queue systems theory. *Sci Transp Prog*. 2018; **77**(5(77)): 28-40.
3. Chander H, Shojaei A, Deb S, et al. Impact of virtual reality-generated construction environments at different heights on postural stability and fall risk. *Workplace Health Saf*. 2021; **69**(1): 32-34.
4. Development of the automatic control system of the blower motors of the diesel electric locomotive / T. G. Konovalova et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1151, no. 1. P. 012040. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1151/1/012040> (date of access: 02.12.2024).
5. Electric locomotive electrical control training based on virtual reality technology / Q. Xiao et al. *Engineering Reports*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1002/eng2.12638> (date of access: 02.12.2024).
6. Electrical Control Systems in Locomotives | Mikura International. *Mikura International | Locomotive Engine Parts for Rail Road & Marine Industries*. URL: <https://mikurainternational.com/electrical-control-systems-in-locomotives/> (date of access: 02.12.2024).
7. Mahan Rezaei, Abdolah Amirany, Mohammad Hossein Moaiyeri, Kian Jafari, A reliable non - volatile in - memory computing associative memory based on spintronic neurons and synapses, *Engineering Reports*, 10.1002/eng2.12902, **6**, 11, (2024).
8. Plöchl M., Edelmann J. Driver models in automobile dynamics application. *Vehicle System Dynamics*. 2007. Vol. 45, no. 7-8. P. 699–741. URL: <https://doi.org/10.1080/00423110701432482> (date of access: 02.12.2024).
9. The Power Behind Locomotives: Exploring Electrical Parts and Their Role | Mikura International. *Mikura International | Locomotive Engine Parts for Rail Road &*

Marine Industries. URL: <https://mikurainternational.com/locomotives-electrical-parts-contactors/> (date of access: 02.12.2024).

10. Zarifian A. A., Kolpahchyan P. G. Computer modeling of electric locomotive as controlled electromechanical system. *Multibody System Dynamics*. 2009. Vol. 22, no. 4. P. 425–436. URL: <https://doi.org/10.1007/s11044-009-9171-5> (date of access: 02.12.2024).

11. Босов Є. П., Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.

12. ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ. Головна - Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/lekciya-7-diahnostuvannja-ta-prohnozuvannja-tehnolohichnoho-obladnannja-pererobnyh-pidpryyemstv.pdf> (дата звернення: 02.12.2024).

13. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Чинний від 1994-03-17. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ» <http://uas.gov.ua>, 1994. 28 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104134.

14. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підруч. 3-є вид., перероб і доп. Львів : УАД, 2006. 336 с.

15. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с.

16. Кеба І.В. Діагностика авіаційних і ГТД , 1980. 220 с.

17. Кодекс законів про працю України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 19.11.2024).

18. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 13.11.2024).

19. Конституція України. Київ : Вид-во Паливода А. В., 2019. 76 с.

20. Костинюк Л. Д. Мікропроцесорні засоби та системи: [навчальний посібник] / Л. Д. Костинюк, Я. С. Паранчук. – Львів : Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2001. – 200 с.

21. Лисенко В.П., Ботвин В.Л. Інструментальні засоби розробки і налагодження мікропроцесорних систем – К.: НАУ, 2004 р. – 118 с.
22. Марченко Б.Г. Вібродіагностика підшипникових вузлів електричних машин / Б. Г. Марченко, М. В. Мислович, АН України. Інститут електричних машин – К.: Наукова думка, 1992. – 195 с.
23. Машошин О.Ф. Діагностика авіаційної техніки. Навчальний посібник. М.: МГТУ ГА, 2007. 141 с.
24. Мокін Б. І. Математичні моделі та інформаційно-вимірювальні системи для технічної діагностики трансформаторних вводів / – Вінниця : "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 1997.– 130 с.
25. Мокін Б. І. Математичні методи ідентифікації електромеханічних процесів. Ідентифікація ЕМП в лінійних стохастичних системах із зосередженими параметрами / Б.І. Мокін , В.Б.Мокін . – [частина II]. – Вінниця : “УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 1999. –98 с.
26. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 20.11.2024).
27. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Від 25.07.2006. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06#Text> (дата звернення: 02.12.2024).
28. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
29. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 28.11.2024).
30. Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14> (дата звернення 22.11.2024).
31. Про охорону праці : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 17.11.2024).
32. Про систему громадського здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2573-20#n840> (дата звернення 20.11.2024).

33. Сердюченко В. Я. Розробка алгоритмів та програмування мовою Turbo Pascal : [навчальний посібник] / В. Я. Сердюченко. – Харків : Паритет, 1995. – 352с.

34. Системи діагностування. *Система електронного забезпечення навчання ЗНУ*.
URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1258102/mod_resource/content/0/Системи%20діагностування%20-%20Лекція%201-2.pdf (дата звернення: 02.12.2024).

35. Технічна діагностика, терміни та визначення. *Головна | Elib LNTU*.
URL: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/енп%20тарасюк/page5.html (дата звернення: 02.12.2024).

36. Чумаченко І. В. Мікроконтролерні прилади : структура і використання : [навчальний посібник] / І. В. Чумаченко, М. Д. Кошовий, В. В. Лопатин. – Харків : Нац. аерокосмічний ун-т “ХАІ”, 2001. – 277 с.

ДОДАТКИ