

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на
транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: «Діагностування ланки постійного струму перетворювачів
частоти»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕМ-18м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Паршенко К.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц., Проценко Д. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

ВСТУП	6
1 ОГЛЯД ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЛАНКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ.....	10
1.1 Сучасний стан методів діагностування перетворювачів частоти.....	10
1.2 Огляд методів та засобів діагностування напівпровідникових елементів перетворювачів частоти.....	13
1.3 Огляд методів та засобів діагностування IGBT-модулів перетворювачів частоти	Ошибка! Загл
1.4 Огляд методів та засобів діагностики тиристорів перетворювачів частоти	Ошибка! Загл
2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЛАНКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ.....	22
2.1 Вейвлет-діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти	22
3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДІАГНОСТУВАННЯ ЛАНКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ.....	37
3.1 Мікропроцесорна реалізація засобу для вейвлет-діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти	37
3.2 Мікропроцесорний пристрій діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти.....	37
3.3 Реалізація пристрою діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів ланки постійного струму перетворювачів частоти із застосуванням програмованих логічних інтегральних схем	45
4 Імітаційне моделювання.....	50
4.1 Комп'ютерна модель вейвлет-діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти частотно-керованих	

асинхронних електроприводів	Ошибка! За
5 Економічна частина	58
5.1 Визначення капітальних вкладень	58
5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	59
5.2.1 Розрахунок основного фонду заробітної плати	59
5.2.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань	63
5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію	64
5.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	64
5.2.5 Розрахунок витрат на допоміжні матеріали	65
6 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	66
6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації перетворювача частоти	67
6.2 Заходи безпеки при експлуатації перетворювача частоти	73
6.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	74
6.3.1 Мікроклімат	74
6.3.2 Виробниче освітлення	76
6.3.3 Виробничий шум	78
6.3.4 Виробнича вібрація	79
6.4 Дослідження безпеки роботи перетворювача частоти в умовах дії загрозливих чинників НС.	81
6.5 Дослідження безпеки роботи перетворювача частоти в умовах дії іонізуючих випромінювань	82
6.5.1 Дослідження безпеки роботи перетворювача частоти в умовах дії електромагнітного імпульсу	83
6.5.2 Заходи щодо підвищення безпеки роботи перетворювача частоти в умовах дії загрозливих чинників НС	85
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	Ошибка! За
Додаток А Технічне завдання.....	96
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	100

ВСТУП

Актуальність.

Стрімкий ріст виробництва та підвищення якості продукції потребує все частішого оновлення обладнання, і переобладнання підприємств. Сьогодні важко уявити сучасне виробництво, яке не містить інтелектуальних систем. Відповідно для виконання задач виробництва електроприводи все частіше комплектуються частотно-керованими асинхронними двигунами, які досить вдало поєднуються з інтелектуальними системами, та виводять сучасне виробництво на досить високий рівень, а отже, з'являються питання обслуговування таких систем.

Технічна діагностика є складовою частиною технічного обслуговування. Основним завданням технічного діагностування є забезпечення безпеки, функціональної надійності та ефективності роботи технічного об'єкта, а також скорочення витрат на його технічне обслуговування та зменшення втрат від простоїв в результаті відмов і передчасних виводів в ремонт. Технічна діагностика завдяки ранньому виявленню дефектів і несправностей дозволяє усунути подібні відмови в процесі технічного обслуговування, що підвищує надійність і ефективність експлуатації, а також дає можливість експлуатації технічних систем відповідального призначення за станом.

Частотний електропривод являє собою систему, яка складається з частотного перетворювача, асинхронного чи синхронного двигуна, не виключається наявність системи гальмування в залежності від потреб технологічного процесу.

Сучасний регульований електропривод з перетворювачем частоти являється складною мехатронною системою, яка обслуговує більшість відповідальних механізмів в усіх галузях промисловості. Тому для забезпечення його надійного функціонування необхідна неперервна діагностика технічного стану та прогнозування аварійних режимів. Існуючі

методики діагностування, побудовані на апаратних засобах та програмних можливостях мікропроцесорних систем, дозволяють технічно реалізувати задачі діагностики та прогнозування несправностей всіх елементів електропривода за наявності адекватної методики синтезу алгоритмів діагностування [1]. Однак, існує проблема вдосконалення систем діагностування перетворювачів частоти та їх складових і ключових елементів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася на кафедрі електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення надійності роботи ланки постійного струму перетворювачів частоти шляхом вдосконалення методів і засобів діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти.

Відповідно до поставленої мети необхідно розв'язати такі основні задачі:

- провести огляд існуючих методів і засобів для діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти. Визначити причини поломки кіл постійного струму перетворювачів;

- розробити математичні моделі діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти;

- за математичними моделями розробити структурні схеми пристроїв для діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти, що реалізуються на основі промислових компонентів, які виготовляються серійно, або інтегрувати їх в існуючі системи діагностування перетворювачів частоти;

- шляхом імітаційного моделювання дослідити адекватність запропонованих мат. моделей та реалізованих пристроїв.

Об'єктом дослідження в роботі є процес визначення поточного стану ланки постійного струму перетворювача частоти та процес визначення ступеня його наближення до аварійного стану.

Предметом дослідження є ланка постійного струму перетворювача частоти та її складові.

Методи дослідження

Для вирішення поставлених задач і аналізу прийнятих технічних та програмних рішень використані наступні перераховані методи дослідження: методи теорії електропривода для дослідження процесів в системі перетворювача частоти, методи теорії вейвлет-обробки сигналів для обґрунтування способу вейвлет-діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти, методи теорії кінцевих автоматів для розробки структури пристрою діагностування та створення програми керування мікропроцесорним контролером, а також числові методи розв'язання задач і комп'ютерна математика для створення комп'ютерних моделей розроблених пристроїв діагностування.

Наукова новизна одержаних результатів

В роботі можна перерахувати наступні наукові результати:

1. Удосконалено підхід та математичну модель системи діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти, яка враховує динаміку зміни експлуатаційного коефіцієнта в часі та знак його похідної, що дозволяє, на відміну від відомих моделей, уникнути прийняття системою хибних рішень, вчасно попереджати обслуговувальний персонал про критичний стан робочого конденсатора, необхідність виведення перетворювача частоти в ремонт та запобігати пошкодженням конденсатора а також адаптовано її для використання із використанням ПЛІС.

Практичне значення одержаних результатів

1. На основі математичної ланки постійного струму перетворювачів частоти розроблено алгоритми та функціональні схеми мікропроцесорних засобів, що мають розширені функціональні характеристики застосування яких дозволяє з високою достовірністю визначати технічний стан кіл

постійного струму перетворювачів частоти, а ще легко інтегруватися в загальну систему діагностування перетворювача частоти.

2. На основі математичної моделі діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювача частоти розроблено алгоритм та функціональну схему пристрою із використанням ПЛІС, що має розширені функціональні можливості, а його застосування дозволяє виконувати діагностування конденсатора ланки постійного струму перетворювача частоти та визначати технічний стан електрообладнання.

3. Розроблено комп'ютерні моделі перетворювача частоти та пристроїв для діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів, щодостовірно відображають запропоновані математичні моделі та їх реалізацію.

Апробація результатів роботи.

На основі матеріалів викладених у МКР підготовлена та подана до друку наукова стаття.

1 ОГЛЯД ПИТАННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЛАНКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

1.1 Сучасний стан методів діагностування перетворювачів частоти

Відомо [2]–[4], що діагностування – це процес визначення технічного стану об'єкта або системи з заданою точністю, що може містити розв'язання задач пошуку дефектів, визначення працездатності та прогнозування зміни стану об'єкта діагностування.

За класифікацією, що подана в роботах [5], [6], процес діагностування ділиться на такі етапи. Першим етапом (визначення працездатності) встановлюється належність об'єкта за станом до підмножин працездатного або непрацездатного станів, а на другому (виявлення несправного стану, який виник) визначається місце у підмножині, де знаходиться об'єкт, який досліджується.

При застосуванні імовірнісних методів на підставі множини ознак, що з визначеною імовірністю розкривають стан системи, за обраним правилом прийняття рішення система може відноситись до одного з N можливих станів. Для уточнення визначення стану вносять одним із критеріїв, поданих в роботах [7]–[10]. Використання статистичних методів розпізнавання для розв'язання задач діагностування подано в [11], [12].

При строго визначеному підході миттєвий стан характеризується m - розмірним вектором A , простір характеристик якого ділиться на ділянки діагнозу D_i .

Практика показує, що [13] імовірнісні методи загальними, але в порівнянні з ними, строго визначені досить коротко викладають суть розпізнавання, є в меншій мірі залежними від надлишкової, малопотрібної інформації, більше відповідають логіці мислення людини і дозволяють отримати рішення за короткий відрізок часу.

Ціллю діагностування установок електричного обладнання є забезпечення найбільш доцільної його експлуатації при заданому рівні

надійності і зменшення витрат на технічне обслуговування та ремонт. Таку цільможливо досягнути за допомогою визначення технічного стану електричного устаткування, яке дає можливість заздалегідь запобігати поломокам, зменшувати простой, що виникають за рахунок пошкоджень, проводити заходи для підтримки працездатного стану електричного устаткування відповідно до даних діагностування, тобто, цільможна досягти через відстежування технічного стану електричного устаткування протягом його роботи.

Виробники напівпровідникової техніки досить широко застосовують силові напівпровідникові прилади, що, в основному, направлені на системи автоматизації електроприводів. В роботі [14] подано сучасний стан у сфері розробок приладів силової електроніки. Належна увага надається MOSFET- і IGBT-модулям, що досить поширені майже в усіх видах сучасного перетворювального обладнання. Але методи і способи їх діагностування не подаються. Відомий метод діагностування перетворювача частоти, що пропонується виробником [15], визначає діагностування перед самим пуском, причому діагностичний висновок отримується за допомогою повідомлення для кожного транзистора щодо наявності короткого замикання, транзистор відкритий або закритий. Цю опцію мають перетворювачі певних серій. Недоліком такої функції є те, що неможливо спрогнозувати чи визначити несправний стан. Виробники інших фірм [16], [17] передбачають діагностування для їхніх серій перетворювачів частоти тільки перевіркою на справний чи несправний стан та перевантаження за струмом. Метод діагностування силових модулів частотного електропривода, який наведений в статті [18], базується на оцінці відповідності струму силового кола зусиллю в електромеханічній системі під час гальмування, але взято до уваги приклад, коли розсіювання енергії гальмування здійснюється на самих модулях та електродвигуні, що доречно тільки для приводів з малими значеннями потужності, часу гальмування та невеликим моментом інерції. Відомий метод визначення працездатності силового транзисторного модуля,

а також кола гальмування, який враховує значення абсолютної температури кристала транзистора та перепад температури на його радіаторі [19]. Такий метод не дає можливості визначити оцінку поточного стану всієї ланки постійного струму перетворювача частоти, а ще дає малий ефект при визначенні працездатності модуля на коротких циклах гальмування. В статті [20] подано спосіб, за допомогою якого можна визначити параметри і вибір гальмівних модулів та резисторів, але метод їх діагностування не розглянуто. В роботах [21], [22] подано методи діагностування силових інверторних модулів ПЧ з векторним керуванням. Для діагностики приймають змінні, що використовуються і для визначення магнітного потоку електродвигуна, а саме: поздовжня та поперечна складові струму статора, але в запропонованих алгоритмах діагностування не враховано стан захисних кіл транзисторних ключів. В статті [23] обґрунтовано необхідність діагностування кіл захисту імпульсних перетворювачів та запропоновано структуру математичної моделі вентиляного перетворювача з урахуванням наявності елементів захисту та їх стану. Але необхідною умовою для діагностування демпферних кіл згідно з поданою структурою є відключення ємності фільтра та забезпечення режиму роботи перетворювача близького до холостого ходу.

В роботі [24] розглядаються принципи побудови трифазного частотно-регульованого асинхронного двигуна, що дає можливість подовжувати роботу при обриві однієї з фаз, але не подано інформації стосовно діагностування системи. В статті [25] досліджено статичні режими роботи перетворювача частоти в умовах низьких температур, подано вплив температури на механічні характеристики електропривода, також запропоновано імітаційну модель, з урахуванням впливу температури на роботу елементів електропривода. Авторами також зазначено, що для надійної роботи блоків перетворювача і системи керування електроприводом потрібна вбудована система контролю та діагностики зі зворотним зв'язком за температурою, але не було розроблено способу чи діагностичної моделі.

1.2 Огляд методів та засобів діагностики перетворювачів частоти

В роботі [26] спосіб діагностики тиристорного перетворювача який передбачає виявлення дефектних тиристорів які використовуються в тиристорних перетворювачах без виводу перетворювача в спеціальний контрольний режим. Базується даний спосіб на контролі і прогнозуванні зміни різниці температур між фактичною зміною температурної структури тиристора і отриманої за допомогою еквівалентної моделі, яка дозволяє відстежувати як зміну стану напівпровідникової структури, так і характер зміни навколишнього середовища. Такий спосіб досить ефективно виявляти дефектний напівпровідник, але для загальної оцінки стану частотного електропривода не підходить. У авторському свідоцтві на винахід [27], поставлена задача базується на діагностуванні несправностей напівпровідникових приладів за рахунок зовнішнього впливу на випробовуваний прилад, реєстрацією параметрів відповідної реакції останнього і виявлення їх неприпустимих відхилень шляхом порівняння з еталоном, в якості зовнішнього впливу використовують прикладувані до приладу 46 електричних напруг, а реакцію реєструють, вимірюючи параметри генерованих напівпровідником акустичних сигналів викликаних протіканням електричного струму, наприклад спектральну щільність амплітуд. Недоліком є те, що даний спосіб не передбачає діагностування пристрою в робочому режимі, і не дає можливості виявити несправність в роботі пристрою в цілому. Відомий пристрій [28], направлений для удосконалення вимірювання термоопору напівпровідника. Пристрій має два режими роботи (рисунк1.2).

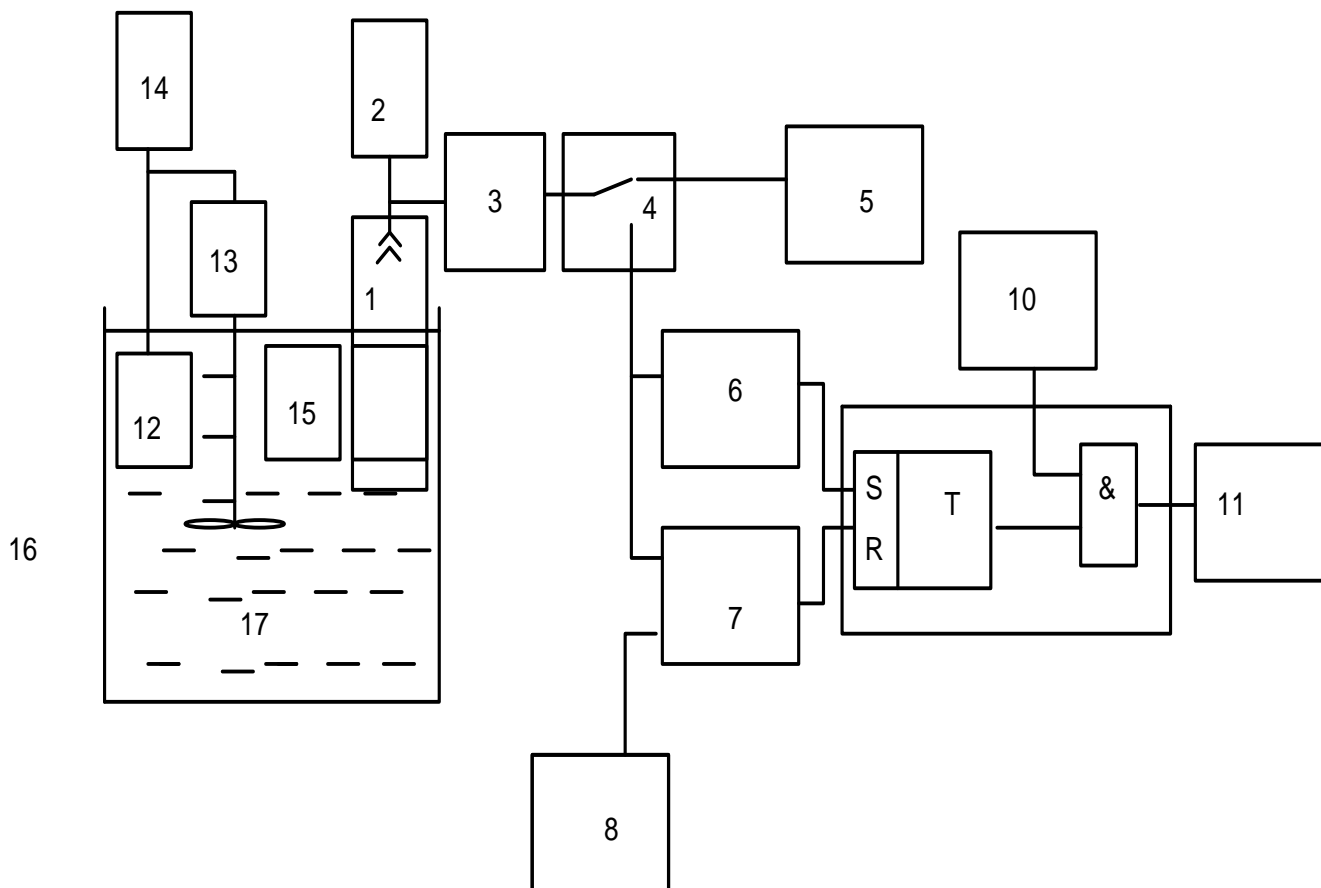


Рисунок 1.1– Блок схема пристрою для вимірювання термоопору

Перший режим - калібрування, визначення графіка залежності вихідної напруги контрольованого напівпровідникового приладу від температури. Другий режим - вимірювання теплового опору перехід - корпус контрольованого напівпровідникового приладу. У першому режимі перемикач 4 встановлюється в положення, коли замкнуті контакти 1 і 3, вихід контрольованого напівпровідникового приладу через контактну колодку 1 підключається до входу підсилювача 3, вихід якого підключений до вольтметра 4, одночасно контактна колодка 1 підключена до джерела струму 2, який задає слабкий струм через контрольований напівпровідниковий прилад. Контактну колодку 1 з контрольованим напівпровідниковим приладом занурюють у посудину 16 з діелектричної рідиною 17, яка має температуру навколишнього середовища. Тип діелектричної рідини підібраний так, що температура кипіння рідини дорівнює максимально

допустимої робочої температури для даного контрольованого напівпровідникового приладу. Після включення джерела живлення 14 нагрівач 12 починає нагрів діелектричної рідини 17. Вентилятор 13 здійснює перемішування діелектричної рідини 17. У процесі нагрівання діелектричної рідини 17 одночасно знімають показання термометра 15 і вольтметра 5. Після нагріву діелектричної рідини 17 до температури кипіння будують графік залежності вихідної напруги контрольованого напівпровідникового приладу від температури. На основі графіка визначають напруги U_c і U_k , яким відповідають температура навколишнього середовища T_c і температури кипіння T_k діелектричної рідини 17. Режим калібрування завершений. Режим вимірювання теплового опору . Перемикач 4 перемикається в положення, коли замкнуті контакти 2 і 3. Контактна колодка 1 з підключеним контрольованим напівпровідниковим приладом виймається з посудини 16 з діелектричною рідиною 17 і охолоджується до температури навколишнього середовища. Джерело живлення 14 включений . Діелектрична рідина 17 знаходиться при температурі кипіння і перемішується вентилятором 13. На виходах джерела опорних напруг 8 встановлюються напруги U_1 і U_2 так , що $U_1 < U_c$ і $U_2 > U_k$. Контактну колодку 1 з контрольованим напівпровідниковим приладом швидко опускають у посудину 16 з діелектричною рідиною 17, яка знаходиться при температурі кипіння. У результаті швидкого нагрівання контрольованого напівпровідникового приладу напруга на його виході і відповідно на виході підсилювача 3 починає падати , оскільки рп перехід має негативну залежність прямої напруги від температури. Як тільки напруга на виході підсилювача 3 порівнюється з напругою U_1 , відбувається перемикання пристрою порівняння 6, передній фронт імпульсу перемикає селектор 9 і дозволяє доступ імпульсів генератора тактових імпульсів 10 на лічильник 11 , який починає рахунок імпульсів. По мірі нагріву контрольованого напівпровідникового приладу до температури кипіння діелектричної рідини 17 напруга на виході контрольованого напівпровідникового приладу і відповідно на виході підсилювача 3 падає до

напруги U_2 , відбувається перемикання пристрою порівняння 7. Передній фронт імпульсу пристрою порівняння 7 перемикає селектор 9 і забороняє доступ імпульсів генератора тактових імпульсів 10. Лічильник 11 зупиняється. Цифрою код на виході лічильника 11 буде показувати значення тимчасового інтервалу $t_2 - t_1$, за яке відбувалося нагрівання контрольованого напівпровідникового елемента приладу. Еквівалентна теплова схема будь-якого напівпровідникового приладу може бути представлена у вигляді послідовно з'єднаних RC ланцюгів, де R - тепловий опір, C - теплоємність матеріалу. Виходячи з цієї теплової моделі повне теплове опір напівпровідникового приладу дорівнює сумі теплових опорів перехід - корпус і корпус - навколишнє середовище. Але, умови однозначного визначення теплових параметрів мікросхем при знаходженні приладу в перемішувати діелектричної рідини тепловий опір корпус - навколишнє середовище буде мінімально і ним можна знехтувати. Тому теплова схема спрощується. Вираз для температури кристала напівпровідникового приладу буде мати наступний вигляд:

$$T_{pn} = T_k \sum_{i=0}^{i=3} \left(1 - e^{\frac{-\Delta t}{R_i \cdot C_i}} \right) \quad (1.1)$$

де, T_{pn} - перегрів кристала напівпровідникового приладу за час t ,

T_k - температура кипіння діелектричної рідини,

R_i - теплові опори,

C_i - теплоємності,

C_0 - теплоємність кристала напівпровідникового приладу,

Δt - час нагрівання напівпровідникового приладу.

Даний пристрій дозволяє здійснювати вимірювання важливого параметра напівпровідникового елемента, такий як тепловий опір, але виходячи з вище наведеного пристрій здійснює вимірювання окремо взятих

напівпровідників, і є непридатним для використання в системах діагностування напівпровідникових приладів таких як перетворювачі частоти, тим більше за наведеним способом неможливо проводити діагностування в робочому режимі пристрою або під час експлуатації.

Відомий пристрій діагностики та захисту реверсивного тиристорного перетворювача [29], який через оптрони 14, 15, 16 (рисунок 1.3) контролюється наявність напруг на парах тиристорів, підключених до фаз А, В, С вторинної обмотки силового трансформатора. При закритих тиристорах напруга на їх виході -15 В, яке при переході до провідного станом тиристорів перемикається на +15 В.

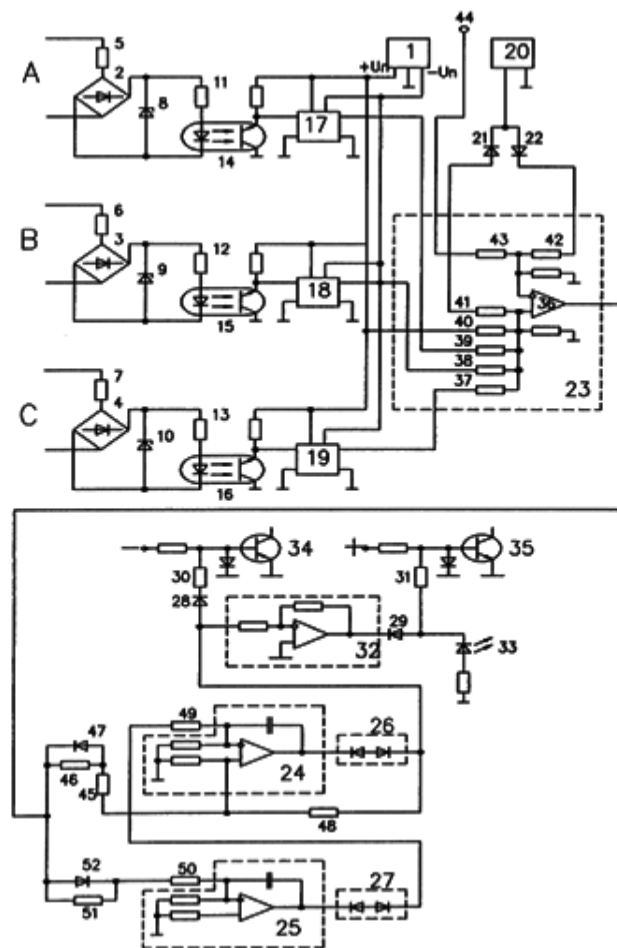


Рисунок 1.2 – Схема пристрою діагностики та захисту реверсивного тиристорного перетворювача

Датчик 20 сигналів дозволу видачі імпульсів управління через діоди 21 і 22 відповідно на тиристорах анодного і катодного груп контролює режим роботи перетворювача за завданням . Значення опорів резисторів на вході компаратора 36 підібрані таким чином , що при відсутності дозволу на видачу імпульсів напруга на виході блоку 23 збігів переключується з -15 В на +15 В, якщо проводить принаймні один тиристор схеми . У разі, коли дозволяється видача імпульсів однієї з груп, змінюється уставка блоку 23 збігів і перемикає на +15 В відбувається лише за одночасної провідності двох тиристорів. При включенні перетворювача в роботу спочатку включають напруга на ланцюгу управління. Датчики 17, 18, 19 проводить стану тиристорів фіксують обрив трьох фаз живлення, і блок 23 збігів перемикається, видаючи на виході +15 В. Напруга на виході першого інтегратора 24 не змінює знака, і при досягненні величини +5 В першого порогового елемента 26 перший інтегратор 24 стає на само підхоплення . Перевищення по модулю напруг третього порогового елемента 28 і через інвертор 32 четвертого порогового елемента 29 викликає закривання ключових елементів 34 і 35, захист забороняє видачу імпульсів, засвічується червоний світлодіод 33, сигналізуючи про справності захисту. При подачі напруги на силові кола перетворювача при справному його стані з'являється напруга -15 В на виходах датчиків 17, 18, 19, напруга на виході компаратора 36 блоку 23 збігів перемикається на -15 В і напруга на виході другого інтегратора 25 змінюється від -15 В до +15 В. При досягненні напруги +5 В другого порогового елемента 27 інтегратор 25 відключає ланцюг підхоплення інтегратора 24 , напруга на виході якого приймає значення -15 В, транзистори ключових елементів 34 і 35 відкриваються, захист дозволяє видачу імпульсів і червоний світлодіод 33 діагностики гасне, що говорить про готовність перетворювача до роботи. Діод 47, шунтуючий резистор 46, забезпечує затримку на спрацьовування захисту тривалістю 3мс. Діод 52, шунтуючий резистор 51, забезпечує затримку на відключення захисту 20мс і перемикає другого інтегратора 25 на +15 В за час 1мс.

Недоліком пристрою являється те, що він не дозволяє оцінити фактичний стан тиристорів в роботі. Враховуючи те, що тиристори працюючи ключовими елементами інвертора мають дещо більшу частотну та область перемикачів, відповідно зважаючи на велику інертність пристрою такого типу, діагностика інвертора на базі тиристорів, а тим більше транзисторів є неефективною.

В роботі [30] розглядається спосіб контролю комутації керованих вентилів

Автор пояснює роботу пристрою (рисунок 1. 4) наступним чином.

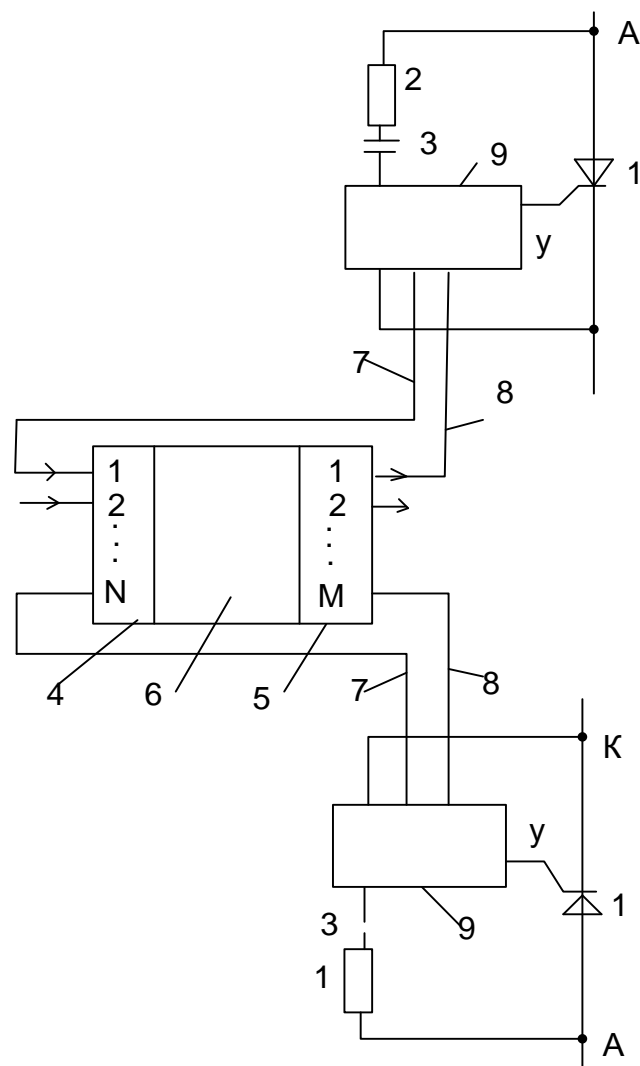


Рисунок 1.3 – Схема пристрою для контролю комутацій керованих вентилів

Після подачі живлення на СІФУ 6 подають напругу живлення на перетворювач, складений з вентильних осередків на основі вентилів 1 і

шунтуючих їх RC - ланцюгів 2 і 3. У загальному випадку число вентилів може становити 1 N штук. Той вентиль, якому на анод "А" буде поданий позитивний потенціал (+), буде готовий до роботи, якщо він справний. Справність вентиля 1 і готовність його до роботи (комутації) буде визначена наступним чином. Після програми "+" до "А" через його демпферний RC - ланцюг 2, 3, 10 з деякою постійною часу буде протікати електричний струм у напрямку від "А" до "К". По закінченні процесу на ємності 3 буде напруга, наприклад U_3 , а на ємності 10 буде напруга, наприклад U_{10} . Розподіл напружень по ємностей 3 і 10 має бути таким, щоб на ємності 10 була напруга U_{10} менше або дорівнює напрузі, безпечного для керуючого електрода "У" вентиля 1. Інші елементи УККВ 9 необхідно вибирати, виходячи з цього ж обставини. Випадкові викиди напруги через ємність 10 в напрямку від "А" до "К" будуть зашунтовані елементом 11 як стабілізуючим елементом, а у зворотному напрямку від "К" до "А" - як зворотним діодом. Заряд ємності 10 до напруги порога спрацьовування елемента 12 викличе появи струму через ланцюг: 13, 12, 14. При цьому виникають умови для спрацьовування елемента 12 як індикатора наявності "+" на "А" вентиля 1.

Ця інформація у вигляді світлового потоку через елементи 19, 7, вихід (наприклад 1) 4 елемента надходить з СІФУ 6, де й буде сприйнята як інформація синхротовності вентиля 1 (осередки) до комутації. Якщо СІФУ 6 "вирішить", що пора включити даний вентиль 1 згідно з алгоритмом роботи перетворювача, то імпульс синхронізації у вигляді світлового потоку від СІФУ 6 через пристрій виведення 5, 8 світловод, оптичний роз'єм 20 надійде на елемент 18. Спрацювання елемента 18 викличе появу електричного струму в ланцюзі: ємність 10 - 15 ключ (емітер-база) - елементи 16 - 18 - 17 - 10, що викличе спрацьовування ключа 15 і з'єднає "+" ємності 10 через елемент 15 з "У" вентиля 1. У результаті ємність 10 виявиться замкнутої по ланцюгу ємність 10 - 15 - "У" - (вентиль 1 - "К") - 10 і викличе включення вентиля 1. Включення вентиля 1 викликає шунтування його RC - ланцюга і потенціал на її елементах буде не вище, ніж

падіння напруги на вентилі 1 . Ємність 3 розрядиться по ланцюгу : 2-1-10- . Розряд ємності 10 викличе припинення струму в колах : 10-13-12-14-10, 10-15-1-10 припинення струму через елемент 12 викличе припинення надходження світлового потоку через елементи 19-7-4, що буде сприйнято СІФУ 6 як сигнал про включення вентиля 1, тобто комутації включення. Далі, після закінчення періоду провідності вентиля 1 (тиристора в даному прикладі) позитивний потенціал " +" буде прикладено до катода " К" вентиля 1, (який за величиною і тривалості залежить від алгоритму роботи перетворювача на основі вентилів 1). Остання обставина має призвести до вимикання вентиля 1. Пристрій здійснює превентивний контроль стану вентилів 1 і комутації їх включення. Контроль комутації вимикання вентиля 1 безпосередньо після її закінчення не доцільне, тому що призведе до суттєвого ускладнення схеми пристрою 9, але не підвищить її інформативність. Остання обставина обґрунтовано тим, що перед подачею імпульсу управління на включення вентиля 1 останній обов'язково проходить контроль на готовність до подальшого включенню. Якщо вентиль 1 або його РС - ланцюг неперервні, то СІФУ 6 виробляє сигнал заборони подачі управління на відповідний вентиль 1 і відповідно враховує доцільність продовження реалізації алгоритму роботи перетворювача на основі вентилів 1. Таким чином , превентивно зафіксована за допомогою запропонованого пристрою УККВ 9 несправність вентиля 1 або РС -ланцюгів 2 , 3, 10 робить включення відповідного вентиля 1 актом , позбавленим фізичного сенсу , сприймається СІФУ 6 як аварія, яка могла б статися, підвищуючи тим самим надійність роботи керованих вентилів і розширюючи технологічні можливості застосування керованих вентилів, перетворювачів на їх основі і технологічних пристроїв, від них живляться.

Даний пристрій не враховує величину напруги насичення вентиля, що в свою чергу є індикатором несправності напівпровідникового вузла, і не може бути придатним для діагностики, а лише контролю стану вентилів.

2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЛАНКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

2.1 Діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти із застосуванням перетворення Добеші 4

Головний ланки постійного струму перетворювача частоти перетворювача частоти складається з гальмівного резистора R_0 та ключового елемента VS_0 , за який у більшості випадків виступає IGBT-модуль (рис. 2.1).

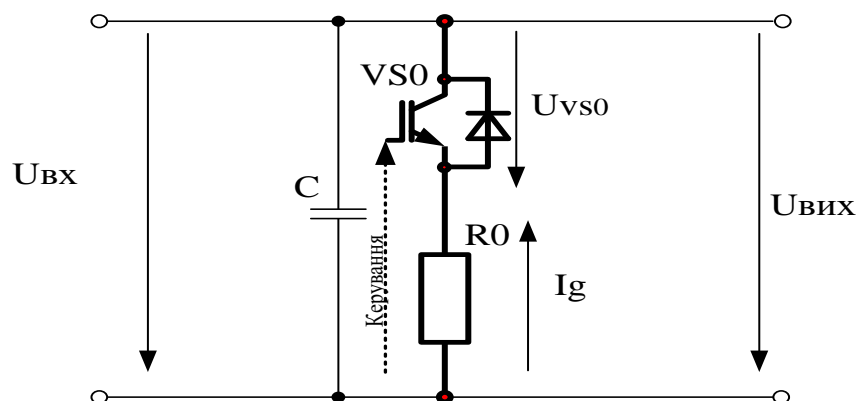


Рисунок 2.1 – Ланка постійного струму перетворювача частоти

Для вибору параметрів вимірювання в колі постійного струму перетворювача частоти формування діагностичної функції потрібно враховувати вказане нижче.

Перенапруга ΔU_C на конденсаторі фільтра в режимі гальмування вказує на про несправність ланки постійного струму перетворювача частоти в цілому [4].

Несправність резистора R_0 характеризує температура нагріву гальмівного резистора T°_r , яка обумовлена кількістю розсіюваної енергії під час гальмування. Якщо цей параметр менший при одних і тих же умовах експлуатації, то це вказує на про несправність гальмівного резистора або початок його руйнування. Відхилення струму через гальмівне коло I_g при однакових умовах роботи буде говорити про пошкодження силового модуля або гальмівного резистора.

Відшарування виводів кристала транзистора призводить до стрибкоподібного зростання напруги насичення і температури кристала. Це пояснюється тим, що руйнування спаяного з'єднання силового чипа призводить до збільшення температурного опору, в результаті зростає температура кристала T_{vs0}° , а також напруга насичення. Такі несправності характеризують руйнування модуля, втрату керованості і, як наслідок, нездатність пропускати електричний струм через гальмівне коло [31].

Для розробки математичної моделі системи діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти скористаємось математичним апаратом вейвлет-перетворення [32]. Розклад вхідного сигналу за допомогою вейвлет-перетворення Добеші зі зворотним відновленням сигналу з використанням перших L вейвлет-коефіцієнтів дозволяє добре описувати вихідний сигнал вейвлетами, при цьому досягається висока швидкість обчислень та можливість встановлювати проміжний стан об'єктів, що характеризуються дискретними станами (в нормі, не в нормі) і проводити їх багаторівневий контроль.

Відповідно до зазначених тверджень потрібно скласти таблицю станів кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів ланки постійного струму перетворювачів частоти (таблиця 2.1), в якій число «1» відповідає потраплянню параметра в зону допуску; «0» – виходу за межі зони допуску відповідної діагностичної ознаки.

В таблиці 2.1 наведені такі позначення: Q_0 – справний стан; Q_1 – справний стан з перегрівом силового модуля; Q_2 – несправний гальмівний резистор; Q_3 – критичний стан; Q_4 – несправний стан.

Таблиця 2.1 – Стани кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів

Стани	Діагностичні ознаки ланки постійного струму перетворювача частоти				
	ΔU_C	U_{vs0}	I_g	T_r°	T_{vs0}°
Q_0	1	1	1	1	1

Q ₁	1	0	1	1	0
Q ₂	0	1	0	1	1
Q ₃	0	0	1	1	0
Q ₄	0	0	0	1	1

Узагальненим підходом до аналізу сигналів $s(t)$ стало їх подання у вигляді виваженої суми простих складових – базисних функцій Ψ_k , помножених на коефіцієнти C_k :

$$s(t) = \sum_k C_k \cdot \psi_k(t). \quad (2.1)$$

Так як базисні функції $\psi_k(t)$ задані як функції певного вигляду, то тільки коефіцієнти C_k несуть інформацію про певний сигнал. Таким чином можна говорити про можливість подання довільних сигналів на основі рядів (2.18) з різними базисними функціями. Базисними функціями вейвлетів можуть бути різні функції, в тому числі функції, що нагадують модульовані імпульсами синусоїди, функції зі скачками рівня. Це забезпечує легке подання сигналів з локальними скачками і розривами.

Вейвлети характеризуються своїми часовим та частотним образами. Часовий образ визначається деякою ψ -функцією часу, а частотний образ – Фур'є-образом, що задає обвідну спектра вейвлета. Фур'є-образ визначається виразом (2.19).

$$F(\omega) = \int \psi(t) \cdot e^{-j\omega t} dt. \quad (2.2)$$

Для отримання зображення вейвлет-коефіцієнтів станів ланки постійного струму перетворювача частоти перетворювача частотно-керованого асинхронного двигуна використовуємо пряме вейвлет-перетворення Добеші db4 (або DB4).

Для розрахунків та моделювання сигналів використаємо ППП Mathcad.

В ядро системи Mathcad вбудований єдиний вейвлет – Добеші db4. При цьому реалізація вейвлет-перетворення (ВП) проходить з великою

швидкістю. Ядро системи Mathcad містить дві функції вейвлет-перетворення [33]:

$\text{wave}(x)$ – вектор прямого вейвлет-перетворення;

$\text{iwave}(w)$ – вектор оберненого вейвлет-перетворення.

Вектор даних x і вектор вейвлет-спектра повинні мати рівно $N = 2^{n_0}$ елементів, де n_0 – ціле число.

Отже, зобразимо графічно таблицю станів кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів.

Кількість елементів вектора даних і вейвлет-спектра буде:

$$N = 2^{n_0}, \quad (2.3)$$

де $n_0 = 9$,

$$N = 2^9 = 512.$$

Крок дискретизації буде задаватися виразом:

$$i = 0, 1..N - 1. \quad (2.4)$$

Сигнали у ППП Mathcad задаємо за допомогою програмних модулів, які знаходяться у набірній панелі Programming. Для прикладу розглянемо формульний вираз:

$$S_{2_i} = \begin{cases} 0, & \text{if } 0 \leq i \leq \frac{N}{5}; \\ 1, & \text{if } \frac{N}{5} \leq i \leq 2 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, & \text{if } 2 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 3 \cdot \frac{N}{5}; \\ 1, & \text{if } 3 \cdot \frac{N}{5} \leq i. \end{cases} \quad (2.5)$$

де S_{2_i} – сигнал стану ланки постійного струму перетворювача частоти,

If – в ППП Mathcad умовний оператор (оператор розгалуження); умова повинна стояти після if, а оператор, який виконується, якщо виконано задана умова, – перед if.

Otherwise – в ППП Mathcad позначає оператор, який повинен бути виконаний, якщо умова оператора if не виконується.

Вирази для задання сигналів решти станів наведено далі:

$$S1_i = \begin{cases} 1, \text{ if } 0 \leq i \leq \frac{N}{5}; \\ 0, \text{ if } \frac{N}{5} \leq i \leq 2 \cdot \frac{N}{5}; \\ 1, \text{ if } 2 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 3 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, \text{ if } 3 \cdot \frac{N}{5} \leq i. \end{cases} \quad (2.6)$$

$$S3_i = \begin{cases} 0, \text{ if } 0 \leq i \leq 2 \cdot \frac{N}{5}; \\ 1, \text{ if } 2 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 4 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, \text{ if } 4 \cdot \frac{N}{5} \leq i; \end{cases} \quad (2.7)$$

$$S4_i = \begin{cases} 0, \text{ if } 0 \leq i \leq 3 \cdot \frac{N}{5}; \\ 1, \text{ if } 3 \cdot \frac{N}{5} \leq i; \end{cases} \quad (2.8)$$

$$SD_i = \begin{cases} 0, & \text{if } 0 \leq i \leq \frac{N}{5}; \\ 1, & \text{if } \frac{N}{5} \leq i \leq 2 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, & \text{if } 2 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 3 \cdot \frac{N}{5}; \\ 1, & \text{if } 3 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 4 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, & \text{if } 4 \cdot \frac{N}{5} \leq i. \end{cases} \quad (2.9)$$

В результаті отримуємо зображення таблиці станів ланки постійного струму перетворювача частоти (рис. 2.2).

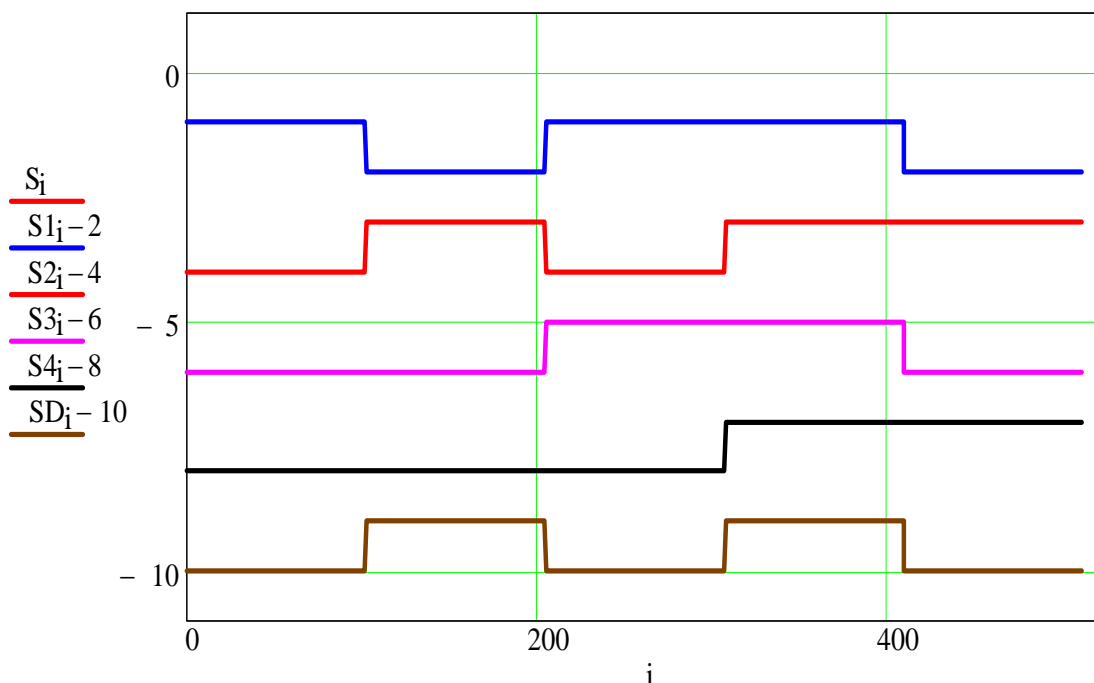


Рисунок 2.2 – Зображення таблиці станів ланки постійного струму перетворювача частоти
(SD – стан ланки постійного струму перетворювача частоти, що діагностується)

Побудуємо вейвлет-діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів ланки постійного струму перетворювачів частотина основі прямого дискретного вейвлет-перетворення, що зводиться до обчислення вейвлет-коефіцієнтів $C(a, b)$ за формулою:

$$C(a, b) = \int_R s(t) a^{-j/2} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (2.10)$$

де $\psi(t)$ – базисна функція; $a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$; \mathbb{R} – область обмеження.

З підстановкою дискретних значень a та b , які задаються на деякій множині $Z = \{\dots -1, 0, 1, \dots\}$ дискретні значення будуть дорівнювати $a = 2^j$, $b = k \cdot 2^j$, де j та k – цілі числа.

$$C(j, k) = \int_0^{\infty} a_0^{-j/2} \cdot \psi(a_0^{-j}t - k) \cdot s(t) dt. \quad (2.11)$$

Обчислення вейвлет-коефіцієнтів здійснюємо в ППП Mathcad за допомогою функції-вектора прямого вейвлет-перетворення Добеші db4 wave(x):

$$\begin{aligned} W1 &= \text{wave}(S1), \\ W2 &= \text{wave}(S2), \\ W3 &= \text{wave}(S3), \\ W4 &= \text{wave}(S4), \\ WD &= \text{wave}(SD). \end{aligned} \quad (2.12)$$

Зображення вейвлет-коефіцієнтів станів ланки постійного струму перетворювача частоти наведені на рис. 2.3.

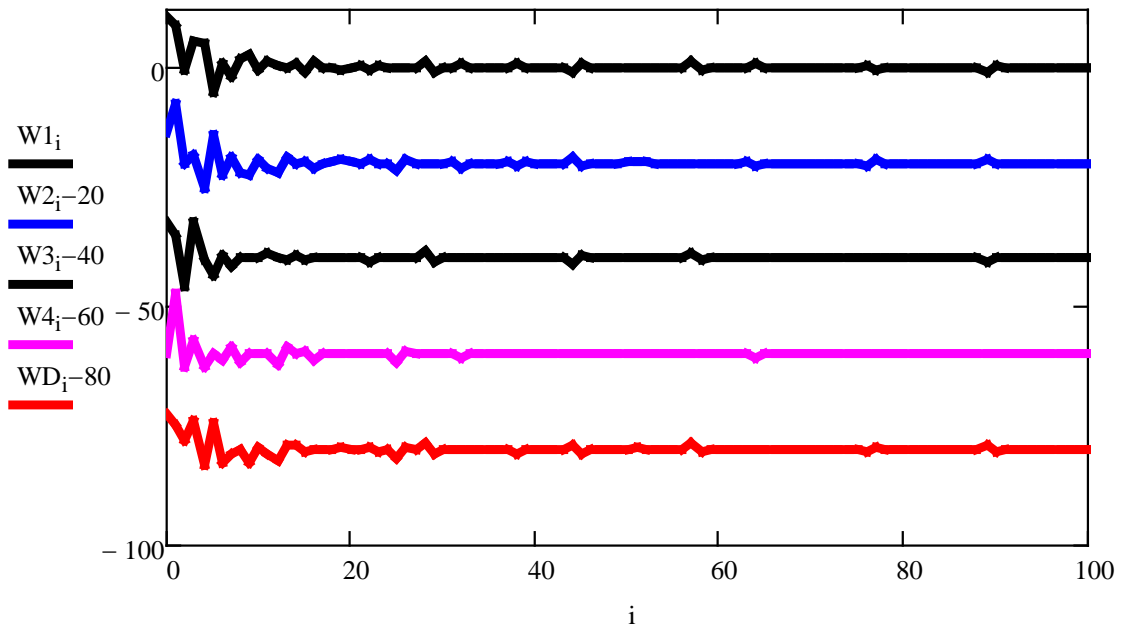


Рисунок 2.3 – Зображення вейвлет-коефіцієнтів станів ланки постійного струму перетворювача частоти (SD – стан ланки постійного струму перетворювача частоти, що діагностується)

Діагнозотримується як стан з максимальним коефіцієнтом кореляції, де коефіцієнт кореляції r обчислюється за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \left[\left(W_{X_i} - \frac{W_{X_i}}{N} \right) \cdot \left(W_{Y_i} - \frac{W_{Y_i}}{N} \right) \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \left[\left(W_{X_i} - \frac{W_{X_i}}{N} \right)^2 \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \left(W_{Y_i} - \frac{W_{Y_i}}{N} \right)^2 \right]}}, \quad (2.13)$$

де W_{X_i} , W_{Y_i} – числові значення величин, між якими встановлюється кореляційний зв'язок.

Вихідні дані та результати вейвлет-діагностування подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Стани кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів

Параметр	Приклад
Стан діагностованого ПЧ	0;1;0;1;0

Діагнози	Q1, r = 0,0125 Q2, r = 0,786 Q3, r = 0,297 Q4, r = 0,583
----------	---

Математична модель діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти

Електролітичні конденсатори, які використовуються в складі автономних інверторів напруги перетворювачів частоти регульованих електроприводів, мають відповідний термін напрацювання на поломоку в роботі (англ. Lifetime), який при розробці системи діагностування є визначальним, так як є функціоналом багатьох критеріїв експлуатації перетворювачів частоти.

В загальному випадку фактичний термін напрацювання (L_f) на поломоку визначається за паспортним терміном напрацювання на поломоку (L_n) та експлуатаційним коефіцієнтом k [34]:

$$L_f = L_n \cdot k. \quad (2.14)$$

Час напрацювання конденсатора, який відповідає поточному ресурсу, може бути визначеним, виходячи з (2.45), як різниця між паспортним терміном напрацювання (L_n) та фактичним (L_f):

$$t = L_n - L_f = L_n (1 - k). \quad (2.15)$$

Імовірність безполомокної роботи електронної апаратури визначається, виходячи з відомої інтенсивності поломок λ , що найчастіше має постійне значення ($\lambda = \text{const}$) [35]:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}. \quad (2.16)$$

Відповідно, імовірність виникнення поломоки в процесі роботи конденсатора на момент часу t визначатиметься:

$$N(t) = 1 - P(t). \quad (2.17)$$

Отже, функція залежності імовірності виникнення поломоки $N(t)$ від

експлуатаційного коефіцієнта, яка отримана шляхом підстановки рівняння (2.46) в вираз (2.48) з відповідним перетворенням t через k , матиме вигляд симетричної експоненти (рис. 2.19).

$$N(k) = 1 - e^{(-\lambda \cdot L_n \cdot (1-k))}. \quad (2.18)$$

Слід зауважити, що більшому значенню імовірності виникнення поломоки відповідає і більша кількість конденсаторів, які вийшли з ладу при досягненні відповідного значення експлуатаційного коефіцієнта. Тому в процесі розробки структури системи діагностування як основний діагностичний параметр буде розглядатись саме експлуатаційний коефіцієнт k .

Експлуатаційний коефіцієнт враховує вплив трьох вагових коефіцієнтів на фактичний термін напрацювання: температури, пульсуючого (випрямленого) струму та робочої напруги й визначається їхнім добутком [36]:

$$k = k_t \cdot k_r \cdot k_v. \quad (2.19)$$

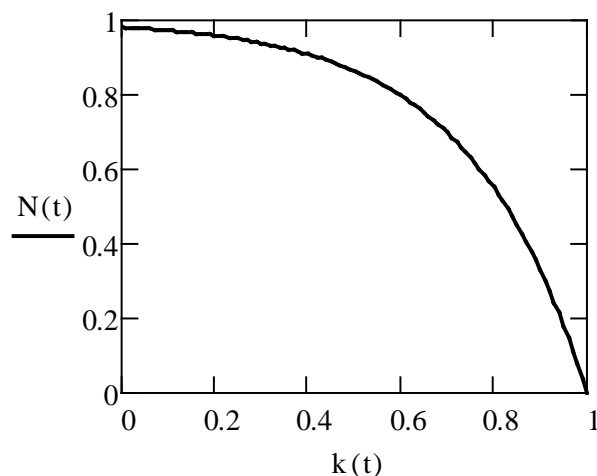


Рисунок 2.4 – Залежність імовірності виникнення поломоки конденсатора від експлуатаційного коефіцієнта

Температурний ваговий коефіцієнт зазвичай визначається за правилом «10 Кельвінів»: зниження температури навколишнього середовища на 10 К приводить до збільшення терміну експлуатації вдвічі. Температурний коефіцієнт розраховується за формулою [37]:

$$k_t = 2^{\frac{T_o - T_a}{10}}, \quad (2.20)$$

де T_o – максимально допустима температура експлуатації, T_a – фактична температура роботи конденсатора.

Ваговий коефіцієнт k_r враховує вплив пульсуючого струму, що отриманий після випрямлення на мостовій схемі випрямляча перетворювача частоти. На величину пульсуючого струму впливає також режим роботи електропривода та інвертора (розгін, гальмування, динамічна зміна навантаження тощо). Внаслідок зміни амплітуди пульсуючого струму змінюватимуться і втрати потужності в конденсаторі $I^2 \cdot \text{ESR}$ (equivalent series resistance – еквівалентний послідовний опір конденсатора в колі змінного струму); зміна втрат потужності також впливатиме на тепловий режим конденсатора. ESR конденсаторів залежить від частоти пульсуючого струму та робочої температури. В роботі прийmemo значення частоти пульсуючого струму таким, що дорівнює 300 Гц, це відповідає частоті пульсацій випрямленої напруги в схемі Міткевича. Така частота пульсацій практично не призводить до відхилення ESR відносно його номінального значення, що встановлюється при частоті 100–120 Гц [125]. В [123] запропоновано для розрахунку вагового коефіцієнта пульсуючого струму використати емпіричну залежність, яку можна виразити за допомогою рівняння (2.52).

$$k_r = \begin{cases} 4 \exp\left(\left(1 - \frac{I_a}{I_o}\right) \cdot \frac{T_o - T_a}{10}\right), & \text{якщо } T_a > 85^\circ\text{C}, I_a > I_o; \\ 2 \exp\left(\left(1 - \frac{I_a}{I_o}\right) \cdot \frac{T_o - T_a}{10}\right), & \text{якщо } T_a \leq 85^\circ\text{C}, I_a \leq I_o; \end{cases} \quad (2.21)$$

де I_a – фактичний пульсуючий струм конденсатора, I_o – номінальний пульсуючий струм конденсатора для промислової частоти.

Вплив робочої напруги на конденсаторі перетворювача частоти враховується окремим ваговим коефіцієнтом k_v . Відхилення робочої напруги

ланки постійного струму перетворювачів частоти від номінальної відбувається внаслідок коливань напруги мережі живлення, перехідних процесів електропривода (розгін – пониження напруги, гальмування – перенапряга). Для визначення k_v виробниками електронної апаратури рекомендується рівняння, яке отримане за статистичними даними випробувань конденсаторів при експлуатації з різними робочим напругами [125]:

$$k_v = \begin{cases} \left(\frac{U_a}{U_o}\right)^3, & \text{якщо } \frac{U_a}{U_o} \in [0,5;0,8); \\ \left(\frac{U_a}{U_o}\right)^5, & \text{якщо } \frac{U_a}{U_o} \in [0,8;1,5); \end{cases} \quad (2.22)$$

де U_a – робоча напруга конденсатора перетворювача частоти, U_o – номінальна напруга конденсатора.

Отже, для встановлення експлуатаційного коефіцієнта k та визначення ступеня його наближення до несправного стану слід вимірювати такі параметри: температуру конденсатора, миттєве значення струму конденсатора та напругу на його виводах (рис. 2.20). За вказаними параметрами слід з рівнянь (2.51-2.53) визначити вагові коефіцієнти, а за рівнянням (2.50) обчислити ваговий коефіцієнт.

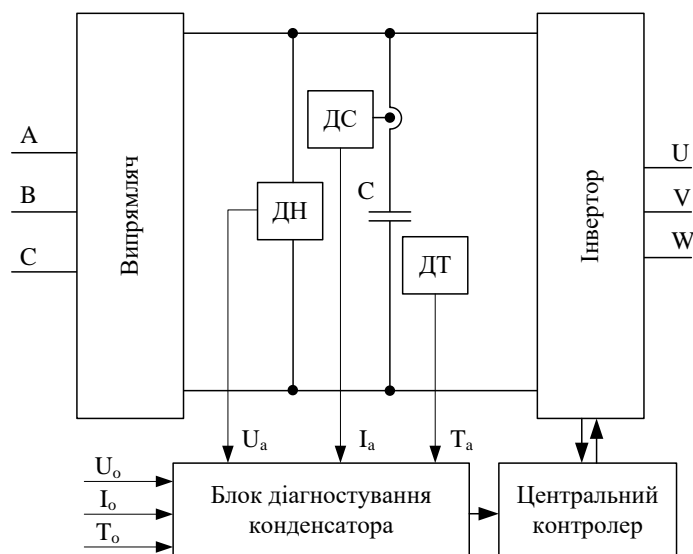


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи діагностування конденсаторів перетворювачів частоти

На схемі на рис. 2.20 ДС – датчик струму I_a , ДН – датчик напруги U_a , ДТ – датчик температури T_a . Номінальні експлуатаційні параметри U_o , I_o , T_o задаються в мікропроцесорному блокові діагностування відповідними константами.

За обчисленим в реальному часі значенням вагового коефіцієнта згідно з виразом (2.49) встановлюється імовірність його поломки, що за умови досягнення критичного значення $N(t)$ слід вважати за попередження про необхідність виведення перетворювача частоти в ремонт та заміну конденсатора. Вчасно виконаний запобіжний ремонт дозволить уникнути пошкоджень під час роботи електропривода, простоїв обладнання, аварій, нещасних випадків залежно від механізму, який приводиться в дію електроприводом.

Нехай критичним значенням імовірності поломки конденсатора є $N_k = 0,5$. За залежністю (2.49) (рис. 2.21) встановлюється відповідне значення експлуатаційного коефіцієнта k , яке відповідає попереджувальному рівню про можливість швидкого поломки конденсатора.

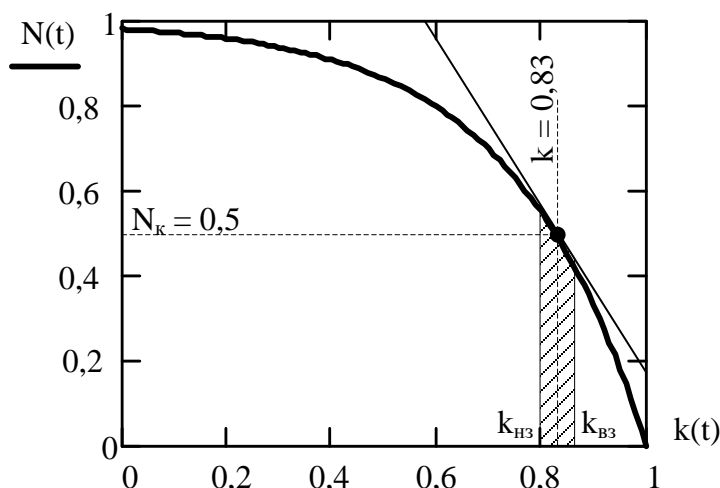


Рисунок 2.6 – Визначення критичного значення експлуатаційного коефіцієнта

Для уникнення хибного висновку системи діагностування виділяється зона нечутливості навколо критичного значення експлуатаційного

коефіцієнта (заштрихована ділянка на рис. 2.21). Зона нечутливості обмежується граничними значеннями: верхнім $k_{вз}$ та нижнім $k_{нз}$. Для визначення меж зони нечутливості використовується геометрична побудова – до залежності $N(k)$ будується дотична в точці, що відповідає критичному значенню N_k . Область прилягання дотичної до функції $N(k)$, де їх різниця за модулем не перевищує 5%, можна вважати і допустимою зоною нечутливості.

Висновок щодо можливості подальшої експлуатації перетворювача частоти з діагностованим конденсатором доцільно формувати не миттєво при виході експлуатаційного коефіцієнта k за зону нечутливості, але слід враховувати і часовий фактор. Наприклад, змінний, динамічний характер навантаження електропривода може обумовити лише короткочасний вихід коефіцієнта k за зону нечутливості, а його повернення призведе до прийняття системою діагностування хибного рішення першого роду. Для уникнення описаного варіанту роботи системи розглядається комбінована модель прийняття діагностичного висновку з урахуванням часової затримки та повторного обчислення експлуатаційного коефіцієнта з порівнянням його поточного значення з попереднім. Така модель може бути описана виразом:

$$k(t) = 2^{\frac{T_o - T_a(t)}{10}} \cdot m^{\left(1 - \frac{I_a(t)}{I_o}\right)^{\frac{T_o - T_a(t)}{10}}} \cdot \left(\frac{U_a(t)}{U_o}\right)^n,$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k(t) < k_{нз} \wedge k(t - \tau) < k_{нз} \wedge \frac{dk(t)}{dt} \leq 0 \rightarrow \text{несправність}; \\ k(t) \in [k_{нз}; k_{вз}] \wedge \frac{dk(t)}{dt} \leq 0 \rightarrow \text{на межі несправності}; \\ k(t) > k_{вз} \vee \left(k(t) \in [k_{нз}; k_{вз}] \wedge \frac{dk(t)}{dt} > 0 \right) \rightarrow \text{справний стан.} \end{array} \right. \quad (2.23)$$

де τ – час затримки для формування діагностичного висновку.

Врахування похідної за часу експлуатаційного коефіцієнта є

обов'язковим та дозволить уникнути прийняття системою діагностування хибних рішень навіть при виході його за допустимі межі (в основному, в сторону $k_{нз}$), однак тенденції до повернення його в зону нечутливості або переходу $k(t)$ із зони нечутливості відносно критичного значення в зону справної стійкої роботи з високим k . Разом з тим при тривалому і незворотному процесі зниження обчисленого коефіцієнта k система повідомить про роботу конденсатора на межі справності або про його несправність.

Запропонована математична модель (2.54) закладається в основу програмного забезпечення цифрового сигнального процесора DSP (digital signal processor), який включається в загальну систему діагностування перетворювача частоти на існуючу шину обміну даними з центральним контролером за підтримуваним ним одним з цифрових протоколів (CAN, I2C тощо). Таким чином реалізується на апаратно-програмному рівні система діагностування конденсатора ланки постійного струму.

3 РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДІАГНОСТУВАННЯ ЛАНКИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ

3.1 Мікропроцесорна реалізація пристрою діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти

Використання мікропроцесорної техніки в технологічних процесах зростає з кожним роком. Тепер головною частиною майже кожної системи діагностування є обчислювальна машина - або мікроконтролер, або промисловий комп'ютер, або ПЕОМ. Такі системи, крім основної задачі, виконують широкий ряд сервісних функцій: збір, зберігання і обробка інформації про об'єкт діагностування (регулювання), передавання цієї інформації, наприклад, до інших рівнів системи тощо.

Найважливіша властивість мікропроцесорних систем — висока гнучкість, можливість швидкої перенастроюки, а при необхідності навіть зміни алгоритмів управління. Як правило, перенастроюка здійснюється програмним шляхом, без суттєвих виробничих затрат. Більше того, мікропроцесор дозволяє легко реалізовувати принцип відкритих систем, функціональні можливості яких можуть нарощуватись по мірі необхідності або по мірі виникнення нових технічних засобів.

Саме застосування мікропроцесорних засобів дозволяє реалізувати високонадійні системи діагностування в енергетиці, забезпечити їх гнучкість при адаптації до різних умов експлуатації, різних типів систем тощо [38,39].

В розвиток даного підходу необхідно розробити структуру мікропроцесорної системи [40 – 46], доповнення якої відповідними перетворювачами інформативних параметрів, алгоритмічним і програмним забезпеченням, дозволить створити також і загальний підхід до побудови структурних схем автоматизованих засобів діагностування силовим електрообладнанням.

Для реалізації мікропроцесорної системи необхідно застосувати мікроконтролер [47,48] та в деяких випадках для розв'язання окремих задач зовнішню пам'ять, зовнішній АЦП, ПВЗ і комутатор сигналів.

Широке різноманіття мікрочіпів в сучасний період дозволяє в якості мікроконтролера використовувати розробки таких фірм як Intel, Atmel, Microchip, Motorola, Analog Devices, Texas Instruments тощо [49].

Враховуючи те, що в різних моделях мікроконтролерів, окрім внутрішньої постійної і оперативної пам'яті є також і АЦП з ПВЗ та комутатором, в багатьох випадках цих апаратних ресурсів вистачає для реалізації необхідних систем контролю. Розмір пам'яті визначається конкретною реалізацією проектованої системи. Застосування зовнішнього АЦП обґрунтовано лише необхідністю збільшення розрядності представлення сигналів та швидкодії[50].

Оскільки архітектура мікропроцесорної системи традиційна, то основну увагу треба зосередити на розробці алгоритмічного та програмного забезпечення.

Для реалізації моделі (2.17) схема вимірювального тракту системи діагностування гальмівного кола. ПЧ, матиме наступний вигляд наведений на рисунку 2.6

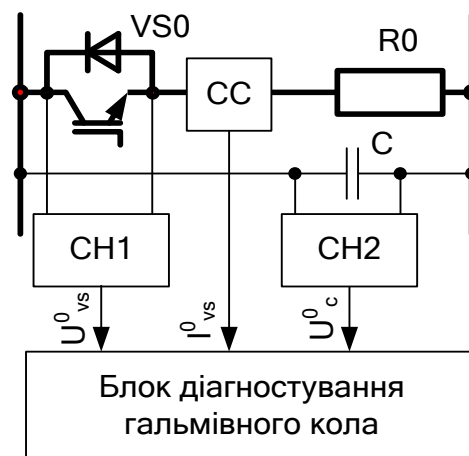


Рисунок 3.1. – Схема вимірювального тракту системи діагностування гальмівного кола

де, CC – сенсор струму гальмівного кола;

CH1, CH2 – сенсори напруги;

Останнім часом все більшу популярність набирають однокристальні мікроконтролери [51,52], які суміщають в собі всі переваги мікропроцесорної системи. Такі мікроконтролери спеціально розраховані для довгої і надійної роботи в автономному режимі.

Структурна схема блока діагностування гальмівного кола перетворювача частоти зображена на рисунку 2.7. На схемі: 1,2,3 – вимірювальні перетворювачі; 4,5,6 – масштабні перетворювачі; 7 – аналоговий комутатор; 8 – пристрій вибірки-зберігання; 9 – АЦП; 10 – мікроконтролер; 11 – блок індикації і клавіатури; 12 – блок інтерфейсу.

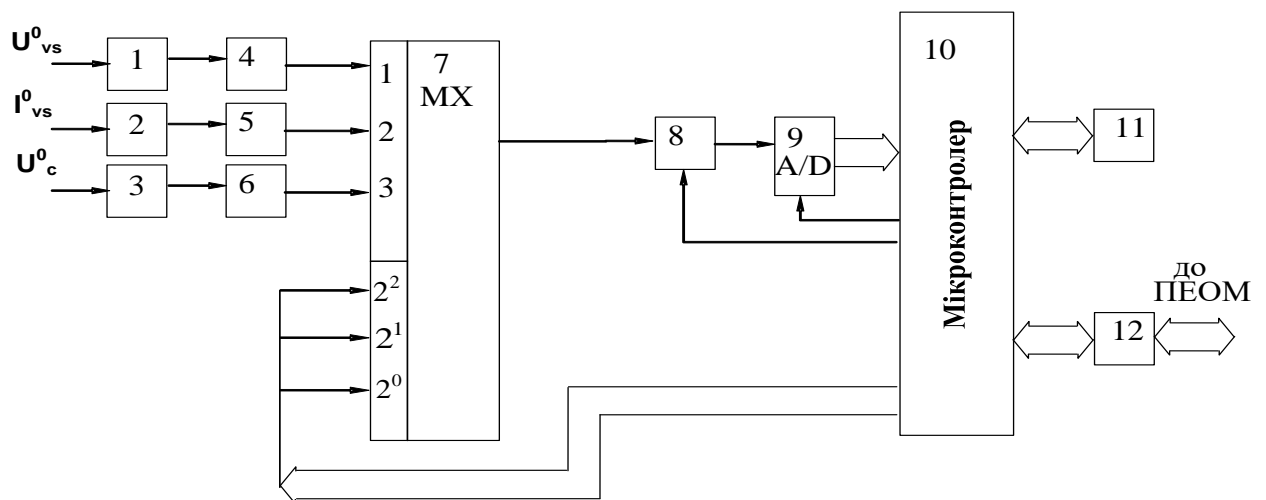


Рисунок 3.2 Структурна схема блока діагностування гальмівного кола перетворювача частоти

Для перетворення струму з датчика струму в напругу використовуються нормуючі перетворювачі 3.

Масштабні перетворювачі 4-6 введено в схему блока діагностування гальмівного кола перетворювача частоти для узгодження сигналів, пристрій вибірки-зберігання 8 – для забезпечення незмінності напруги на вході АЦП

на період перетворення сигналів, тобто слугує для зменшення динамічної похибки під час вимірювання.

Працює блок діагностування гальмівного кола так. Мікроконтролер 10 підключає до входу АЦП 9 через вимірювальний перетворювач 1, масштабний перетворювач 4, аналоговий комутатор 7, та пристрій вибірки-зберігання 7 вимірює значення напру на конденсаторі фільтра в колі постійного струму перетворювача частоти, потім аналогічно вимірюється спад напруги на ключовому елементі гальмівного кола. Після виміру струму у вимірювальному колі все починається спочатку. Таким чином відбувається основний цикл сканування значень параметрів гальмівного кола .

Якщо в процесі первинної обробки інформації система визначає, що гальмівне коло знаходиться в аварійному стані то мікроконтролер посилає інформацію про аварійний стан гальмівного кола перетворювача частоти передається в центральний блок за допомогою блока інтерфейсу 12.

Розрахунок поточного стану і визначення діагностичного показника в процесі роботи , в тому числі аварійного стану згідно моделі (2.17) відбувається в мікроконтролері. Інформація про стан, чи діагностична оцінка також передається в центральний блок за допомогою блока інтерфейсу 12, і виводиться на блок індикації 11.

Блок індикації і клавіатури 11 під'єднується до мікроконтролера 10 і забезпечує виведення оперативних даних, а також дозволяє організувати простий діалоговий режим обміну інформацією між контролером і оператором для виведення деяких найважливіших даних або з метою діагностики пристрою.

Алгоритм обміну інформацією базового блоку з центральним забезпечує передачу налаштувань під конкретний частотно-керований електропривод і прийом деякої сервісної інформації.

Блок діагностування гальмівних кіл перетворювача частоти побудований на основі однокристального мікроконтролера фірми ATMEGA, модель ATMega16. Вибір саме цього мікроконтролера обумовлений

наявністю вбудованого АЦП, вбудованого UART, великого об'єму електрично-перепрограмованої пам'яті програм (8 КБайт), достатнього об'єму ОЗП (512 байт), а також великою швидкістю, досягнутою завдяки застосуванню RISC архітектури побудови мікроконтролерного ядра. Вбудований багатоканальний АЦП, поєднаний з пристроєм утримання аналогового сигналу під час аналого-цифрового перетворення, дозволяє значно зменшити розміри печатного вузла за рахунок відмови від застосування зовнішнього блоку АЦП.

Для забезпечення зв'язку з центральним блоком використовується асинхронний порт мікроконтролера, для гальванічної розв'язки сигналу і формування струмової петлі в каналі зв'язку застосовані оптопари як в приймальному, так і в передавальному блоках.

3.2 Мікропроцесорний пристрій діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти

В розділі 2 запропоновано математичну модель системи діагностування конденсаторів перетворювачів частоти, яка враховує вплив температури, пульсуючого струму та коливання напруги мережі, додатково в моделі враховано динаміку зміни експлуатаційного коефіцієнта в часі, знак його похідної. Висновок щодо можливості подальшої експлуатації перетворювача частоти з діагностованим конденсатором доцільно формувати не миттєво при виході експлуатаційного коефіцієнта k за зону нечутливості, а слід враховувати і часовий фактор. Наприклад, може мати місце лише короткочасний вихід коефіцієнта k за зону нечутливості, а його повернення призведе до прийняття системою діагностування хибного рішення першого роду, тому пропонується комбінована модель прийняття діагностичного висновку з урахуванням часової затримки та повторного обчислення експлуатаційного коефіцієнта з порівнянням його поточного значення з попереднім. Аналітично модель описується системою рівнянь 2.54.

Запропоновано схему мікропроцесорного пристрою діагностування конденсаторів перетворювачів частоти, який функціонує згідно із рівняннями системи (2.54). Електричну схему пристрою наведено на рис. **Ошибка! Неизвестный аргумент ключа..**

Реалізувати запропоновану систему діагностування конденсаторів перетворювачів частоти можна, використовуючи 8-розрядний RISC мікроконтролер Atmega8A-PU виробництва фірми Atmel, який для вирішення поставленої задачі має в своєму складі 23 програмованих канали портів введення/виведення, модуль 10-розрядного АЦП з шістьма мультиплексованими входами, три таймери, які можуть працювати в режимах таймера та в режимі ШІМ, адресований модуль USART з підтримкою RS-232. Мікроконтролер має оптимізовану структуру та систему команд.

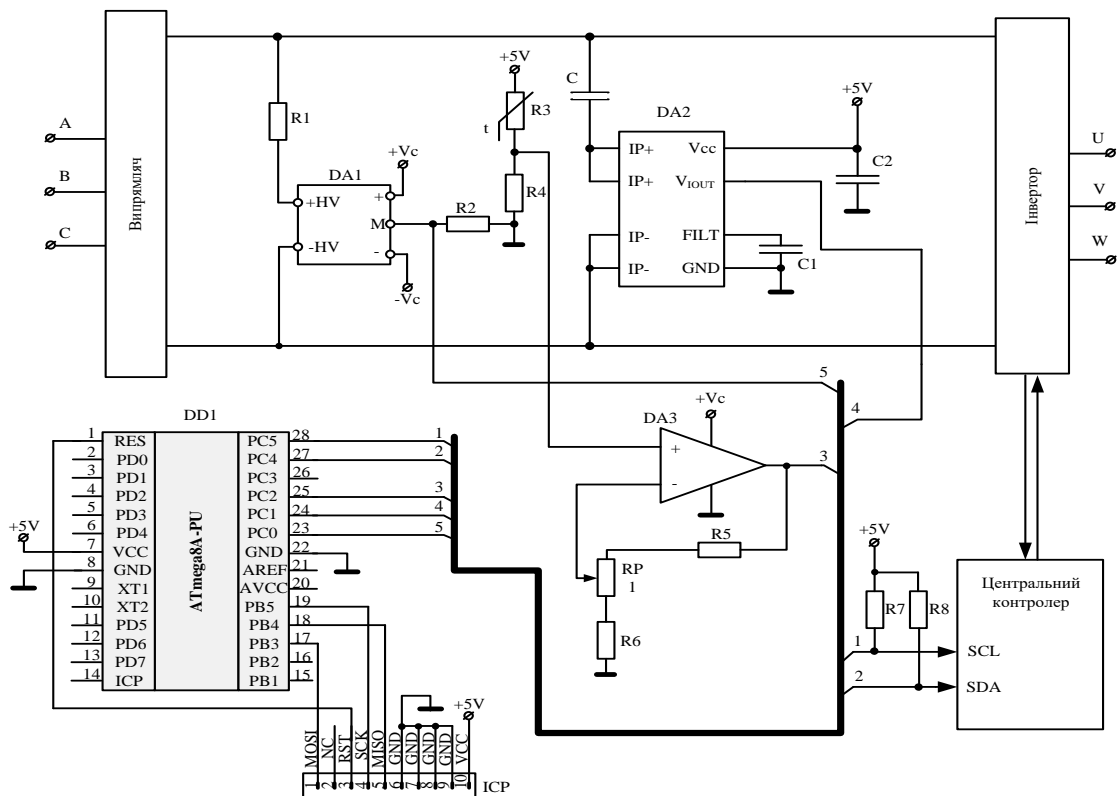


Рисунок 3.1 – Електрична схема мікропроцесорного пристрою діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти

Як сенсор напруги використовується компенсаційний сенсор напруги L25-P, який забезпечує гальванічну розв'язку інформаційного та силового

кіл. Вихідний сигнал L25-P можна безпосередньо підключати до виводу АЦП мікроконтролера після додавання навантажувального резистора R3. Сигнал струму конденсатора формується на виході сенсора струму ACS712, даний сенсор також працює на ефекті Холла та має вихідний сигнал, адаптований для застосування в мікропроцесорній техніці, конденсатори C1 та C2 призначені для фільтрації сигналу. Значення температури перетворюється у відповідний електричний сигнал з використанням лінійного термометра опору моделі 700-101BAA-B00, який встановлено безпосередньо на конденсаторі та з'єднано за схемою подільника напруги з резистором R4. Сигнал напруги пропорційний температурі конденсатора з виходу подільника R3, R4 підсилюється операційним підсилювачем DA3, включеним за схемою неінвертувального підсилювача з можливістю регулювання коефіцієнта підсилення потенціометром RP1.

Зв'язок мікропроцесорного пристрою діагностування конденсаторів з центральним контролером керування інвертором здійснюється за стандартним протоколом TWI. Для зміни констант та початкових значень експлуатаційних параметрів пристрій оснащено роз'ємом для внутрішньосхемного програмування ICP.

Робота схеми полягає в циклічному опитуванні сигналів сенсорів, що надходять на входи АЦП мікроконтролера, та визначенні технічного стану конденсатора ланки постійного струму перетворювача частоти, який визначається згідно з моделі діагностування, описаною системою рівнянь (2.54).

Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування конденсаторів перетворювачів частоти наведено на рис. 3.2.

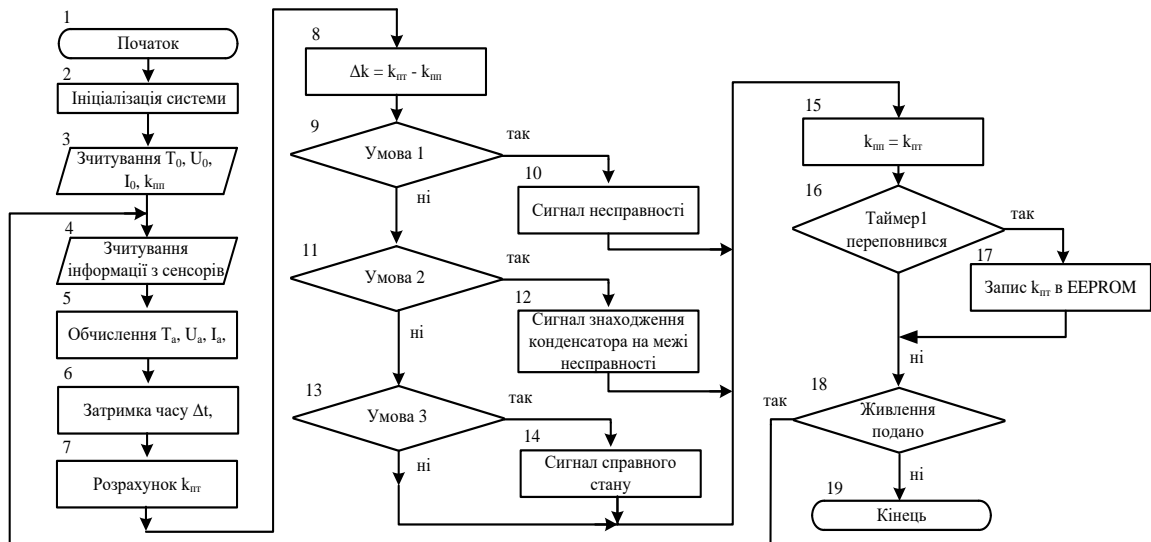


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування конденсаторів перетворювачів частоти

Алгоритм містить такі складові: в блоці 2 відбувається ініціалізація мікропроцесорної системи та налаштування портів і початкових значень необхідних параметрів; в блоці 3 проводиться зчитування інформації з внутрішньої енергонезалежної пам'яті значень експлуатаційних параметрів I_0 , T_0 , U_0 та попереднього значення експлуатаційного коефіцієнта $k_{пт}$; в блоках 4, 5 проводиться зчитування та перетворення за допомогою АЦП мікроконтролера значень напруг з виводів портів, до яких під'єднано сенсори струму конденсатора, напруги на шині постійного струму та температури конденсатора; блоки 6, 7 забезпечують розрахунок поточного значення експлуатаційного коефіцієнта $k_{пт}$ згідно з першою формулою системи (2.54) через час Δt ; в блоці 8 відбувається визначення зміни значення експлуатаційного параметра Δk , яка відбувається за фіксовані проміжки часу Δt , таким чином Δk пропорційний першій похідній від k за часом; в блоці 9 відбувається перевірка умови згідно з другим рівнянням системи (2.54), якщо дана умова виконується, контролер формує сигнал несправності, який передається до центрального контролера по мережі TWI; в блоці 11 відбувається перевірка умови згідно з третім рівнянням системи (2.54), якщо дана умова виконується, контролер формує сигнал перебування конденсатора на межі несправності, який передається до центрального контролера; в блоці

12 відбувається перевірка умови згідно з четвертим рівнянням системи (2.54), якщо дана умова виконується, контролер формує сигнал справного стану, який передається до центрального контролера мережею TWI; в блоці 15 відбувається запис попереднього значення експлуатаційного коефіцієнта, що дорівнює його поточному значенню; блоки 16, 17 відповідають за запис в енергонезалежну пам'ять (EEPROM) попереднього значення експлуатаційного коефіцієнта через визначені таймером рівні проміжки часу.

3.3 Реалізація пристрою діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів ланки постійного струму перетворювачів частоти із застосуванням програмованих логічних інтегральних схем

Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС), або FPGA (field programmable gate arrays) є цифровими інтегральними мікросхемами (IC), що складаються з програмованих логічних блоків і програмованих з'єднань між цими блоками. Можливість конфігурувати ці пристрої дозволяє інженерам-розробникам розв'язувати безліч різних задач. Залежно від способу виготовлення ПЛІС можуть програмуватися або один раз, або багаторазово. Пристрої, які можуть програмуватися тільки один раз, називаються одноразово програмованими. [53].

Існує велика кількість різних типів цифрових мікросхем, у тому числі і таких, як «розсіпна логіка» (невеликі компоненти, що містять декілька простих фіксованих логічних функцій), пристрої пам'яті і мікропроцесори. В даному випадку інтерес викликають програмовані логічні пристрої (ПЛП), спеціалізовані замовні інтегральні мікросхеми ASIC (application specific integrated circuit), спеціалізована інтегральна схема і ASSP (application specific standard parts) та ПЛІС. Причому, термін ПЛП об'єднує два типи пристроїв: прості програмовані логічні пристрої (прості ПЛП) і складні програмовані

логічні пристрої (складні ПЛП) [54].

У даному розділі (підрозділ 4.2) було запропоновано пристрій для діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів, який було реалізовано цифровими апаратними засобами з використання стандартних блоків дискретних пристроїв. Враховуючи вимоги сучасного приладобудування, енергоефективності, точності та швидкодії, даний пристрій реалізуємо засобами програмованої логіки. За основу візьмемо ПЛІС Altera MaxII EMP240T100C5, програмування якої здійснимо в середовищі Quartus II 9.0.

Структурна схема пристрою для діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів ланки постійного струму перетворювачів частоти із застосуванням ПЛІС зображена на рис. 3.3.

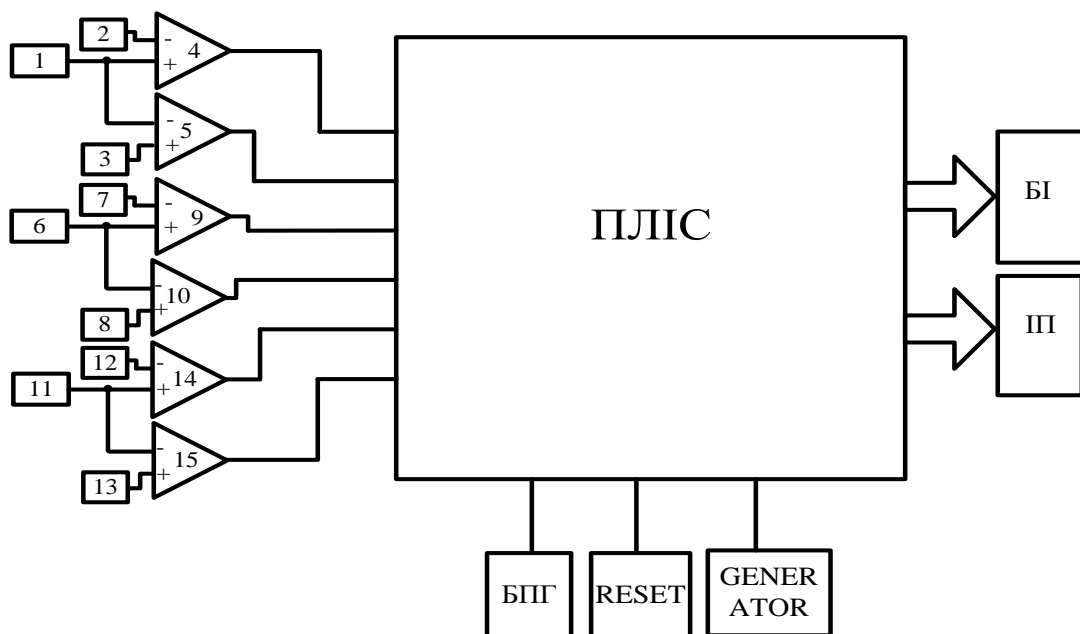


Рисунок 3.3 – Структурна схема пристрою для діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів із застосуванням ПЛІС

На рисунку 3.10: блоки з 1 по 15 призначені для визначення належності вимірних сигналів ланки постійного струму перетворювача частоти до

діапазону допустимих значень та, відповідно, перетворення вхідних аналогових сигналів в цифрову інформацію, ПЛІС – програмована інтегральна логічна схема, БПГ – блок початку гальмування, RESET – блок скидання схеми; GENERATOR – генератор опорної частоти; БІ – блок індикації; ІП – інтерфейсний перетворювач.

В результаті розробки програмного забезпечення було отримано структурну схему пристрою діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів ланки постійного струму перетворювачів частотив середовищі Quartus II, зображену на рис. 3.11.

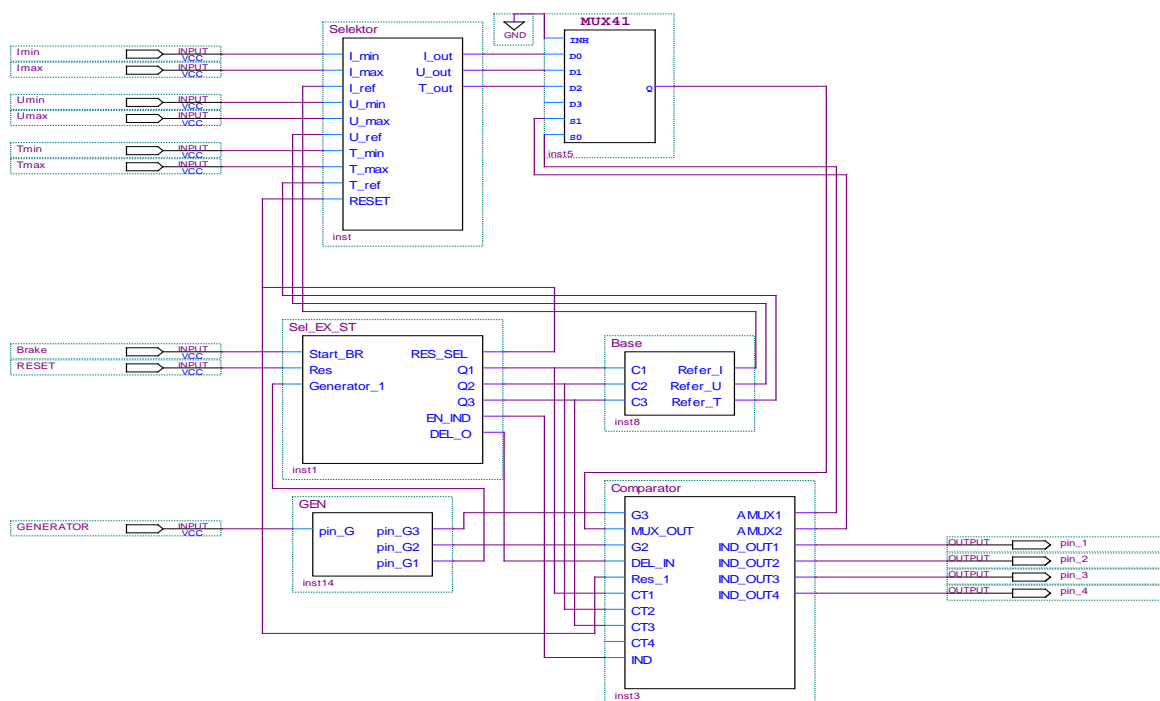


Рисунок 3.4 – Структурна схема пристрою діагностування гальмівних кіл перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів в середовищі Quartus II

Основна програма, що наведена на структурі (див. рис. 3.11), складається з шести блоків, які являють собою основні функціональні частини схеми відповідно запропонованої у другому розділі математичної моделі діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти

перетворювачів ланки постійного струму перетворювачів частоти із застосування ЛЧФ.

Блок «Selektor» призначений для формування ЛЧФ поточного стану та порівняння її з ЛЧФ зразкових станів. Блок «Sel_EX_ST» призначений для формування сигналів вибірки ЛЧФ зразкових станів із блока «Base».

Блок «Comparator» призначений для визначення відрізка існування отриманих ЛЧФ в результаті порівняння за модулем два та визначення ЛЧФ з найменшим відрізком існування. Блок «GEN» призначений для формування опорних частот, що забезпечують коректну роботу пристрою.

Решта елементів та блоків, що використовувалися для побудови схеми, є стандартними елементами бібліотеки середовища Quartus II, тому їх детальний огляд, є недоречним.

Результати моделювання наведено на рис. 4, як видно з графіків при подачі тестового сигналу на входи IN1-5 (01100), на виходах 1-5 найменший час існування ЛЧФ буде в діапазоні 3-4 мс, що відповідає стану Q₃, якщо тривалість однакова висновок про поточний стан приймається на основі пріоритетності станів.

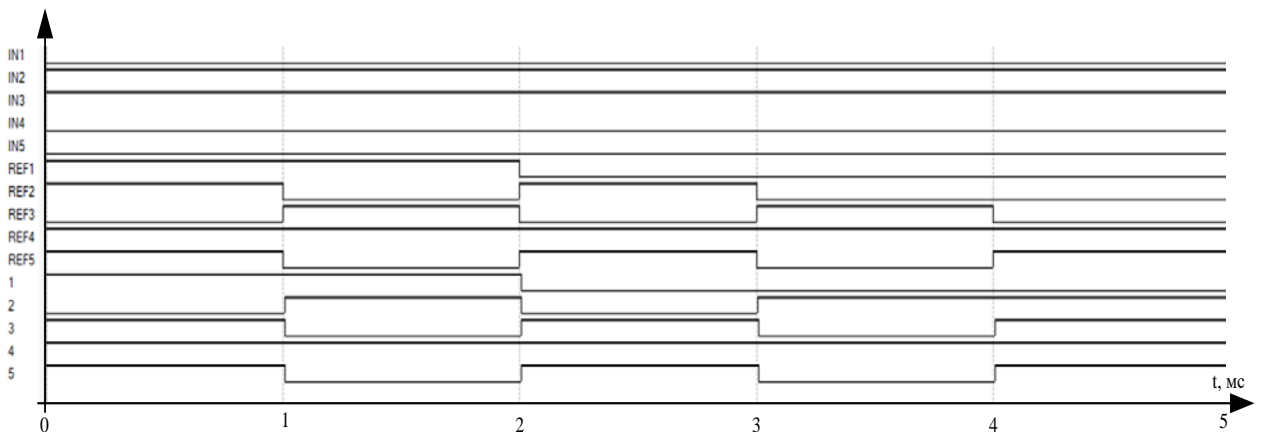


Рисунок 3.5– Результати моделювання блоку порівняння ЛЧФ діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів ланки постійного струму перетворювачів частотив середовищі Quartus II

Дана реалізація дозволяє сильно підвищити швидкодію, надійність

пристрою, так як використовується лише одна мікросхема, а також дозволяє зменшити енергоспоживання та розміри порівняно з реалізацією на інтегральних мікросхемах, що, відповідно, сильно зменшує його вартість

4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Для комп'ютерного моделювання застосуємо пакет прикладних програм (ППП) MatLab 10.1 . Даний PPP дає можливість вирішувати широке коло математичних задач і містить в своєму складі програму Simulink , з допомогою якої можна легко будувати схеми моделювання досліджуваних систем і отримувати результати моделювання в зручному наочному вигляді.

Розроблена комп'ютерна модель дозволяє дослідити роботу частотного електропривода, зокрема гальмівних кіл, крім того в такій моделі зручно проводити діагностування роботи частотного електропривода по блоках, оскільки функціональні блоки моделі частотного електропривода відповідають не лише математичній моделі, але і структурі фізичного частотного електропривода.

Застосування моделі дозволить швидко провести перевірку адекватності отриманої математичної моделі діагностичного висновку стану гальмівного кола перетворювача частоти, в різних режимах роботи.

В роботі [55] показано як імітаційна модель системи ПЧ-АД синтезована в середовищі MATLAB. Силовий канал реалізований за допомогою віртуальних блоків спеціалізованого пакета розширення Sim Power System, керуючий інформаційними каналами побудованими на основі блоків основного пакета Simulink, а механічна частина побудована з допомогою блоків пакета Simscape – SimMechanics.

Силовий канал електропривода по системі ПЧ-АД (рисунок 3.1) містить: асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором М, автономний інвертор напруги UZ з системою керування AUZ, конденсатор фільтра С, транзистор VT для комутування гальмівного резистора R, некерований випрямляч U, мережевий фільтр LF, автоматичний вимикач QF, мережа змінного струму AC.

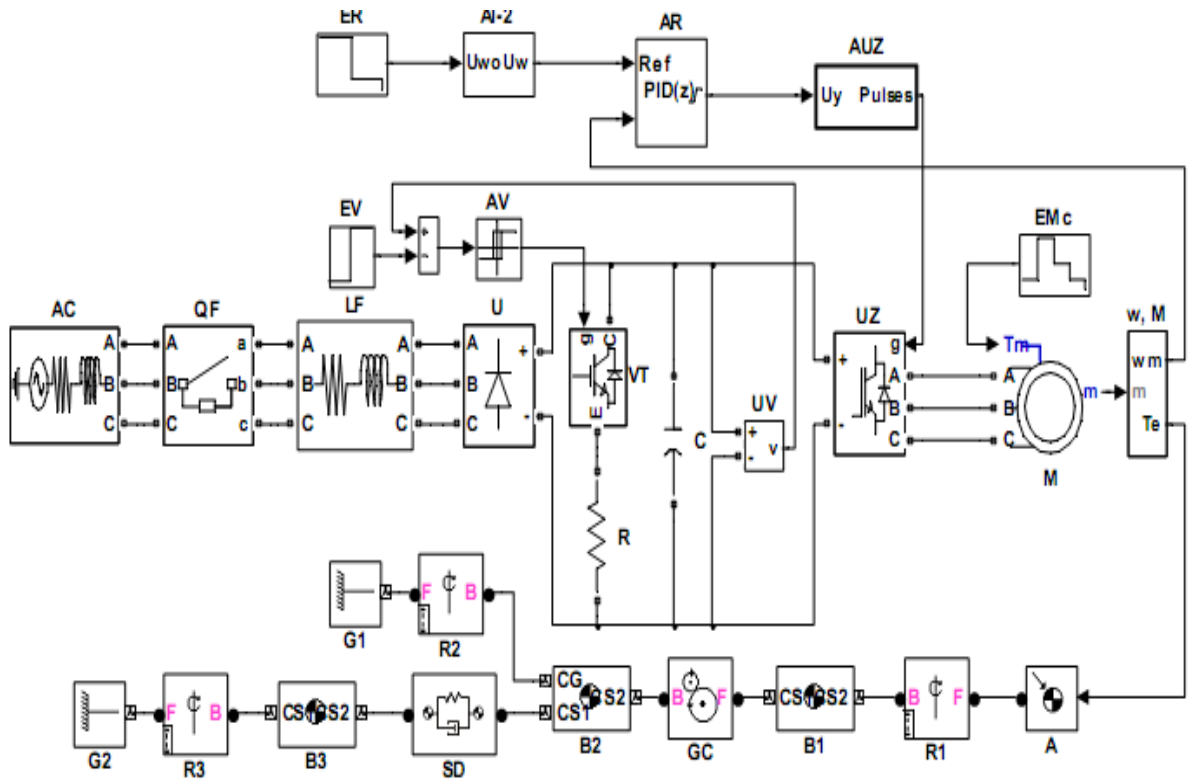


Рисунок 4.1.–Імітаційна модель електропривода по системі ПЧ-АД.

Для отримання необхідних характеристик перехідного процесу роботи електропривода на гальмування за основу візьмемо вище наведену модель, при чому для спрощення розрахунків буде достань розімкнутої системи.

Для формування керуючих сигналів використовується блок PWM Generator. Розрахунок модулюючі сигналів керування транзистором в плечах А,В,С інвертора визначаються за виразами:

$$u_A = u(1) \sin(u(2) \cdot u(3)), \quad (4.1)$$

$$u_B = u(1) \sin(u(2) \cdot u(3) - 2 \cdot \pi / 3), \quad (4.2)$$

$$u_C = u(1) \sin(u(2) \cdot u(3) + 2 \cdot \pi / 3). \quad (4.3)$$

Пилоподібна напруга несучої частоти, генерується блоком Control System, має амплітуду 1В. Тому величина сигналу блока Constant 1 дорівнює коефіцієнту модуляції інвертора, який в свою чергу являються відношенням

амплітуди модулюючої напруги $U_{\text{ммод}}$ до амплітуди пилоподібної напруги $U_{\text{мнес}}$.

$$M = U_{\text{ммод}} / U_{\text{мнес}} \quad (4.4)$$

В діапазоні зміни коефіцієнта модуляції $0 < m < 1$ інвертор знаходиться в лінійній зоні.

На входи блоків Fcn подано три сигнали: $u(1)$ – амплітуда модулюючої напруги, $u(2)$ – кутова частота модулюючої напруги $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, де $f = 50$ Гц, $u(3)$ поточний час (блок Clock). У всіх моделях крок дискретизації $\text{Max Step Size} = 10^{-4}$.

На рисунку 3.2 показано структуру та налаштування блоку розрахунку модулюючого сигналу керування транзистором

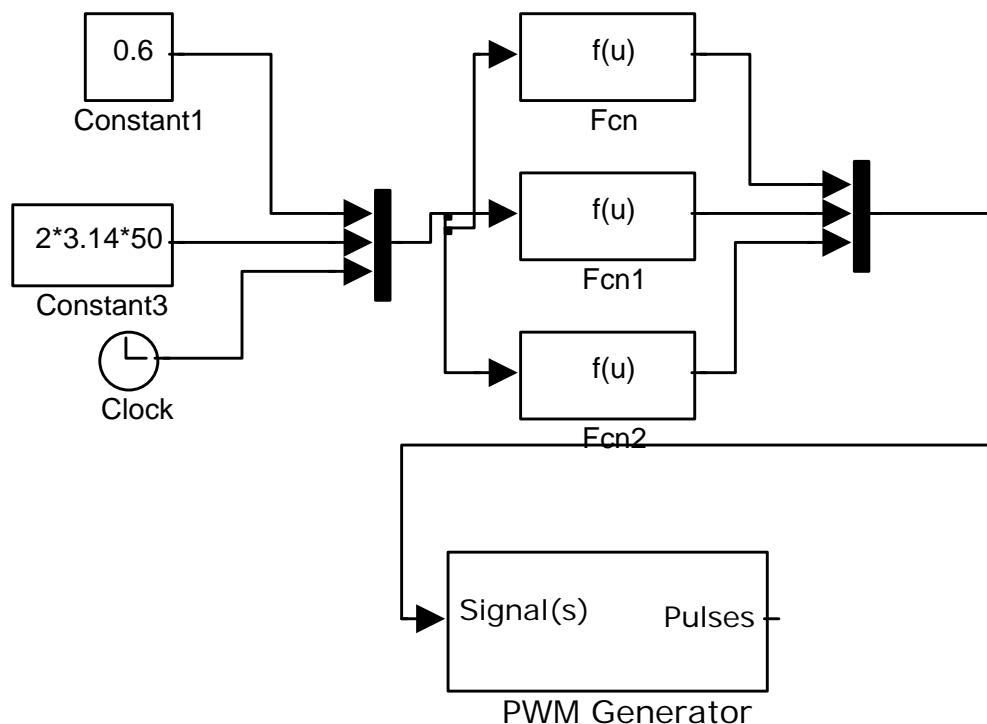


Рисунок 4.2. – Блок розрахунку і формування модулюючого сигналу

Силова частина моделі складається з джерела живлення (Three-Phase Source1), некерованого випрямляча (Universal Bridge1), конденсатора фільтра, автономного інвертора напруги (Universal Bridge2), та асинхронного

двигуна (Asynchronous Machine) (рисунок 13)

Припустимо, що в прецизійному електроприводі використовується асинхронний двигун типу 4A80B2У3, з номінальними параметрами (таблиця 3.1):

Таблиця 3.1 – Технічні дані приводного двигуна типу 4A80B2У3

Параметри	Значення
Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	2,2
Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, В	380
Номінальна швидкість обертання $n_{\text{ном}}$, об/хв	2850
Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{\text{ном}}$	0,87
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ном}}$, %	83
Кратність пускового моменту двигуна $\lambda_{\text{м пуск}}$	2,4
Кратність максимального моменту двигуна $\lambda_{\text{м max}}$	2,9
Номінальний струм статора $I_{1 \text{ ном}}$, А	4,7
Кратність пускового струму λ_I	6,5
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, кг·м ²	0,85

Для настройки моделі АД необхідно додатково розрахувати такі параметри:

- приведена індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L'_c = L'_p = \frac{U_{\text{ф.ном}}}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 + C^2) \lambda_I \cdot I_{\text{ном}}}, \quad (4.5)$$

де $U_{\text{ф.ном}}$ – номінальна фазна напруга при з'єднанні обмоток статора в зірку, В;

λ_I – кратність пускового струму.

Номінальна фазна напруга при з'єднанні обмоток статора в зірку:

$$U_{\text{ф. ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393 \text{ (В)}. \quad (4.6)$$

$$L'_c = L'_p = \frac{219,393}{4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1 + 1,0023^2) 6,5 \cdot 4,7} = 0,005585 \text{ (Гн)};$$

- індуктивність статора:

$$L_c = \frac{U_{\phi, \text{НОМ}}}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_{\text{НОМ}} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot M_{\text{max}}}{p \cdot U_{\phi, \text{НОМ}}} \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{S_k}}, \quad (4.7)$$

$$L_c = \frac{219,393}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4,7 \sqrt{1 - 0,77^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 22,44}{1 \cdot 219,393} \cdot \frac{0,05}{0,281}} = 0,249 \text{ (Гн)};$$

- індуктивність кола намагнічування:

$$L_m = L_c - L'_c = 0,249 - 0,005585 \approx 0,243 \text{ (Гн)}. \quad (4.8)$$

Отримані розрахункові дані внесемо в параметри настройки моделі (рисунок 3.3).

В якості навантаження модельованого двигуна є розрахунковий момент статичного опору виробничого механізму.

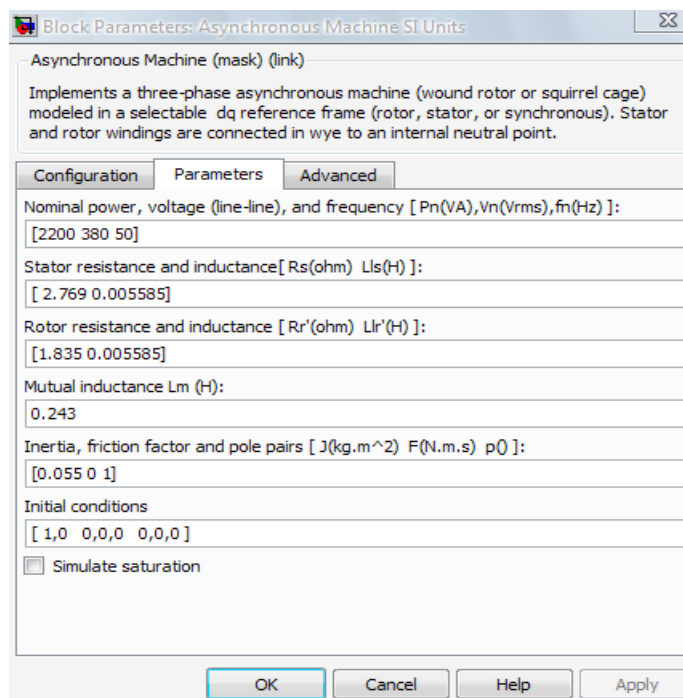


Рисунок 4.3– Вікно настройки параметрів АД

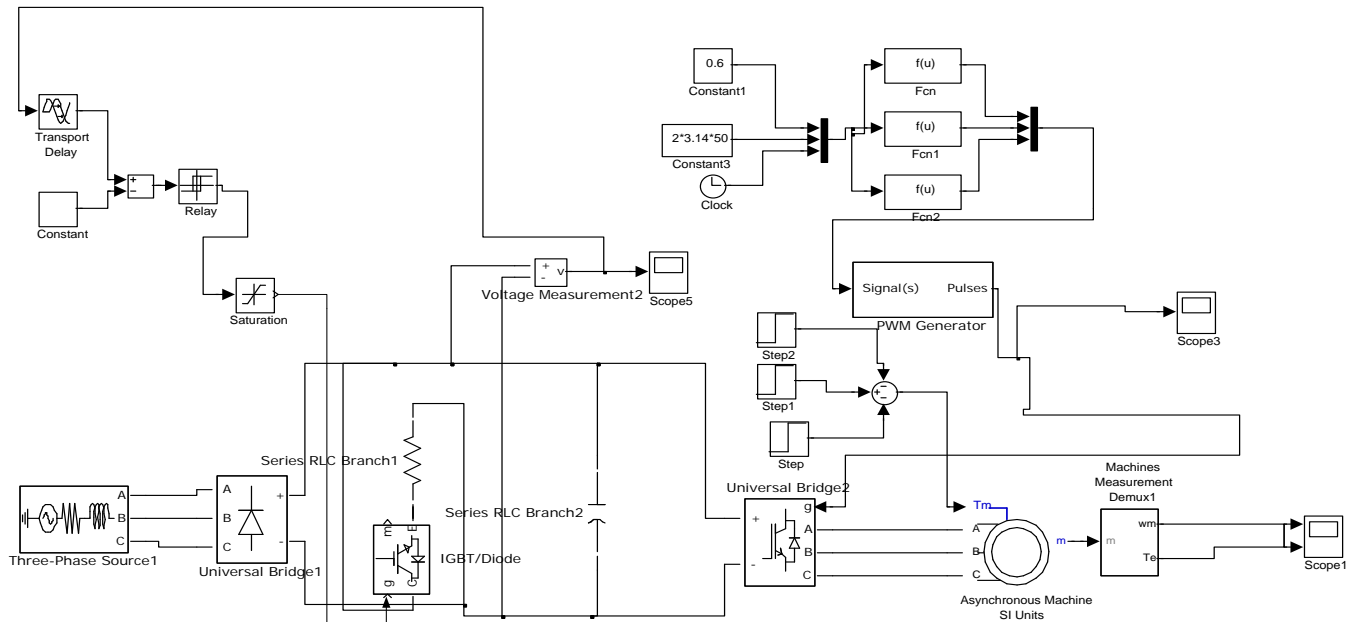


Рисунок 4.4 Структурна схема моделювання частотного електропривода

Коло скиду енергії має структуру зображену на рисунку 3.5. Фактично коло скиду енергії реалізує режим гальмування з віддачею енергії на гальмівний резистор, який здійснюється при переключенні за допомогою комутатора (ключа) гальмівного резистора. При перевищенні під час гальмування ЕРС приводного двигуна величини вихідної напруги інвертора відбувається заряд конденсатора фільтра кола постійного струму, і після досягнення величини напруги уставки ключ спрацьовує автоматично і підключає гальмівний резистор. При цьому відбувається рекуперация енергії на гальмівний резистор.

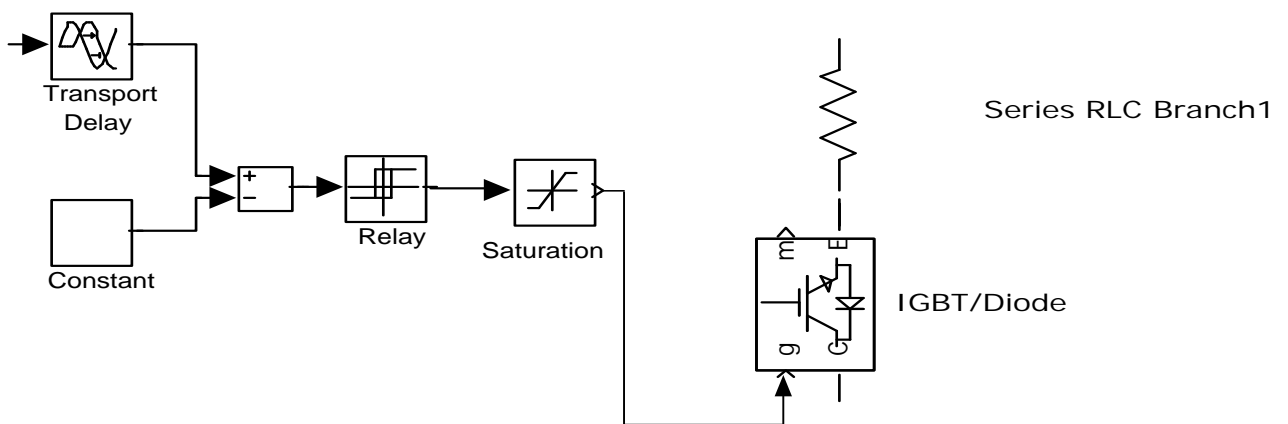


Рисунок –4.5. Структура кола скиду енергії

При дослідженні об'єктної моделі АД в сукупності з ПЧ на основі АІН в середовищі Matlab визначено перехідні процеси швидкості та моменту (рисунок 3.6) а також діаграми зміни напруги на конденсаторі фільтра ПЧ з гальмівним колом та без нього зображені на рисунках 3.7, 3.8.

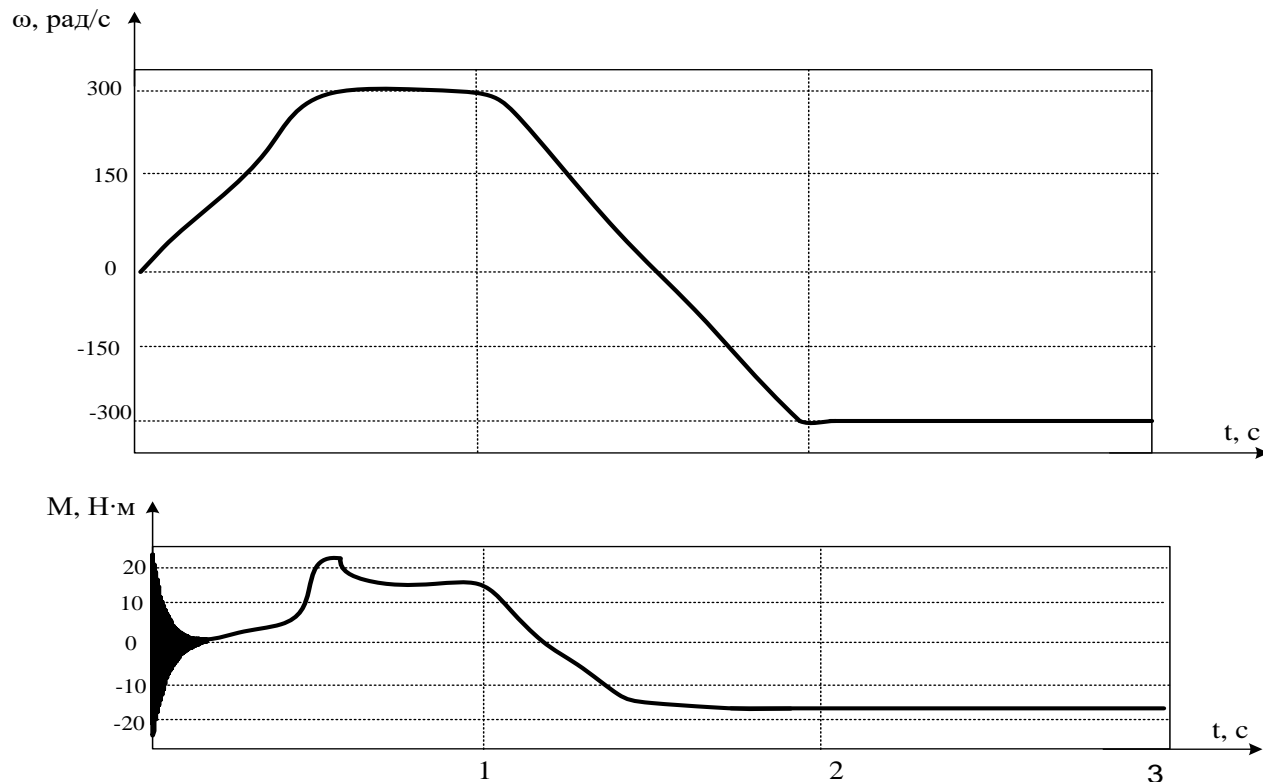


Рисунок 4.6 –Графіки перехідних процесів швидкості та моменту частотного електропривода в розімкнутій системі

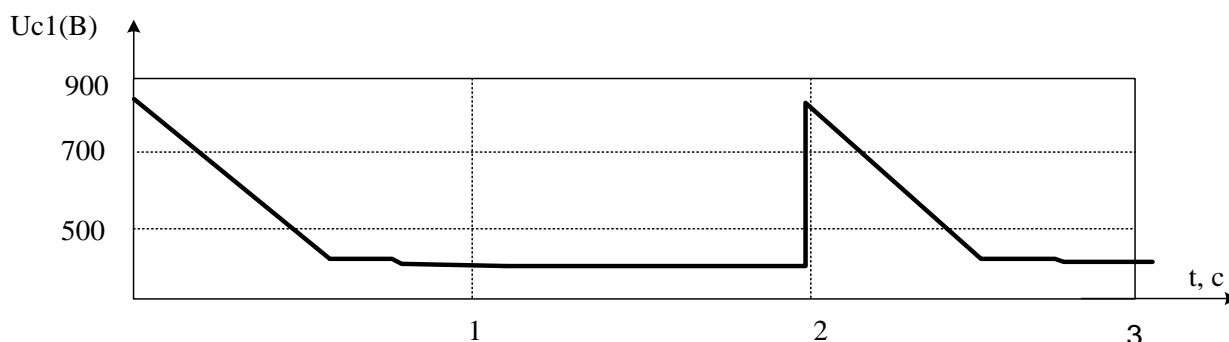


Рисунок 4.7 –Графк зміни напруги на конденсаторі фільтра без кола скиду енергії

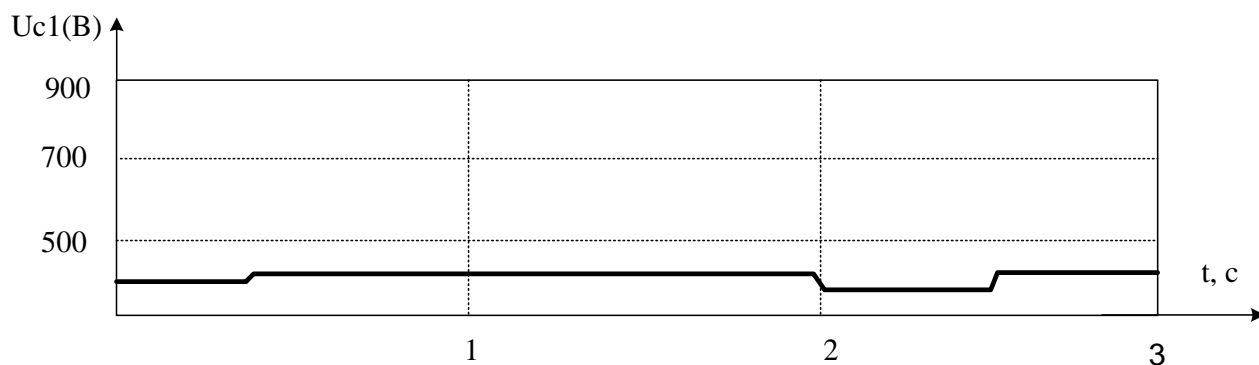


Рисунок 4.8 –Графк зміни напруги на конденсаторі фільтра із кола скиду енергії

Проведене комп'ютерне моделювання показало що розрахунок для ПЧ без гальмівного кола фактично відповідає роботі ПЧ з пошкодженим, або несправним таким колом. Отже напруга на конденсаторі фільтра є важливим і ефектним діагностичним показником.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Застосування системи діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювача частоти дозволить зменшити витрати на обслуговування самих перетворювачів частоти, а також підвищити надійність системи в цілому та захистити частотно–керований електропривод від передчасного поломки, що призведе до збільшення якості продукції, зменшення простоїв та зменшення затрат на поточні ремонти. Для визначення доцільності застосування даної системи автоматичного керування проведемо економічний розрахунок двох варіантів:

- базової системи ПЧ-АД;
- нової з системою діагностування гальмівних кіл перетворювача частоти .

Основні переваги нової системи автоматизації:

- підвищення якості обслуговування перетворювача частоти частотного електропривода;
 - підвищення надійності системи,
- термін експлуатації гальмівних кіл перетворювача частоти;
- економічність.

5.1 Визначення капітальних вкладень

Кошторис на обладнання для базового та нового варіантів приведений в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Кошторис витрат для нового та старого варіантів

№ п/п	Найменування	К-ть	Базовий вар	Новий вар
1	Асинхронний двигун 4А80В2У3	1	1063	0
2	Засіб діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювача частоти	1	0	3911
3	Перетворювач частоти Altivar 11 2,2кВт	1	3911	0

Продовження таблиці 4.2 – Кошторис витрат для нового та старого варіантів

Найменування	Базовий вар	Новий вар
Всього	4974	3911
Транспортні витрати (30%)	1492,2	1173,3
Всього ціна	6466,2	5084,3
Монтажні роботи (5%)	248,7	195,55
Капітальні вкладення всього	6714,9	5279,85

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

5.2.1 Розрахунок основного фонду заробітної плати

Для розрахунку чисельності ремонтного персоналу необхідно скласти графік технічного обслуговування та ремонту електрообладнання для базового та нового варіантів.

Нормативну трудомісткість технічного обслуговування та ремонту вибираємо з та заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.3 – Нормативна трудомісткість технічного обслуговування та ремонту

Найменування обладнання	Тривалість рем. циклу		Структура ремонтного циклу	Нормативна трудомісткість люд. год.		
	К роки	П міс		К	П	О
1. Засіб діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювача частоти	16	6	К-31П-К	160	78	35
2. Електродвигун	15	8	К-21П-К	130	30	15
3. Перетворювач частоти	4	6	К-7П-К	35	10	6

Складаємо графіки технічного обслуговування та ремонту електрообладнання для базового та нового варіантів та заносимо до

таблиць 5.3 та 5.4 та визначаємо чисельність персоналу за формулою:

$$R_e = \frac{T_{\text{сум.рем}}^{н(б)}}{900}, \quad (5.1)$$

де $T_{\text{сум.рем}}^{н(б)}$ - сумарна річна трудомісткість технічного обслуговування та ремонту для базового та нового варіантів, люд·год.

Таблиця 5.4 - Графік технічного обслуговування та ремонту для базового варіанту

Обладнання	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Перетворювач частоти	35			78			35			25		30
Електродвигун			30			15			15			15
Разом за місяць	35	0	30	78	0	15	35	0	15	25	0	30
Разом за рік	278											

Чисельність ремонтного персоналу для базового варіанту:

$$R_e = \frac{278}{900} = 0,35 \approx 1(\text{людина})$$

Таблиця 5.5 - Графік технічного обслуговування та ремонту для нового варіанту

Обладнання	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Електродвигун	10		30			15			15			15
Перетворювач частоти						5						6
Разом за місяць	10		30	0	0	15	0	0	0	0	0	21
Разом за рік	96											

Чисельність ремонтного персоналу для базового варіанту:

$$R_e = \frac{96}{900} = 0,01 \approx 1(\text{людина})$$

При розрахунку оплати праці по існуючому тарифу потрібно врахувати, що дана система є установкою з напругою до 1000 В. Згідно з правилами технічної експлуатації електроустановок обслуговувати дану установку може 1 робітник, у якого розряд не нижче четвертого, а група допуску по електробезпеці не нижче ніж третя.

Тарифна ставка 1-го розряду TC_1 складає 12,52 грн/год. Тарифна ставка четвертого розряду:

$$TC_4 = K_4 \cdot TC_1, \quad (5.2)$$

де K_4 – тарифний коефіцієнт 4-го розряду ($K_4 = 1,54$).

$$TC_4 = 1,54 \cdot 12,52 = 19,28 \text{ (грн/год)}$$

Заробітна плата працівника за рік складає:

$$Z_r = TC_4 \cdot m \cdot \Phi_{pч}, \quad (5.3)$$

де m – кількість робочих годин в день ($m = 8$);

$\Phi_{рч}$ – фонд робочого часу ($\Phi_{рч} = 240$ днів).

$$З_т = 19,28 \cdot 8 \cdot 240 = 37019,13 \text{ (грн/рік)}.$$

Надбавка до оплати праці за професійну та майстерну діяльність:

$$П_{пм} = \frac{З_т \cdot Н_{пм}}{100}, \quad (5.4)$$

де $Н_{пм}$ – надбавка за професійну діяльність (для працівників з четвертим розрядом $Н_{пм} = 15\%$).

$$П_{пм} = \frac{37019,13 \cdot 15}{100} = 5552,88 \text{ (грн)}.$$

Всього заробітна плата складає:

$$З_{пост} = З_т + П_{пм}, \quad (5.5)$$

$$З_{пост} = 37019,13 + 5552,87 = 42572,01 \text{ (грн)}.$$

Оплата премії працівнику (при коефіцієнті премії $К_{пр} = 30\%$):

$$П_{пр} = \frac{З_{пост} \cdot К_{пр}}{100}, \quad (5.6)$$

$$П_{пр} = \frac{42572,01 \cdot 30}{100} = 12771,60 \text{ (грн)}.$$

Всього основна заробітна плата складає:

$$З_{осн} = З_{пост} + П_{пр}, \quad (5.7)$$

$$З_{осн} = 42572,01 + 12771,60 = 55343,61 \text{ (грн)}.$$

Розрахуємо додаткову заробітну плату (10% від основної):

$$З_{дод} = 0,1 \cdot З_{осн}, \quad (5.8)$$

$$З_{дод} = 0,1 \cdot 55343,61 = 5534,36 \text{ (грн)}.$$

Загальний фонд оплати праці складає:

$$\Phi = \Phi_{\text{осн}} + \Phi_{\text{дод}}, \quad (5.9)$$

$$\Phi = 55343,61 + 5534,36 = 60877,97 \text{ (грн)}.$$

5.2.2 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація основних фондів - це процес відшкодування значення основних фондів шляхом поступового перенесення їх вартості на новостворену продукцію або надані послуги.

Для заміщення зношеної частини основних засобів виробництва підприємства роблять амортизаційні відрахування, тобто відрахування певних грошових сум відповідно до розмірів фізичного і морального зносу засобів виробництва.

Основні методи амортизації основних фондів:

Метод рівномірної амортизації – перенесення вартості основних фондів на собівартість продукції протягом амортизаційного періоду засобів праці за однаковими нормами амортизаційних відрахувань.

Метод прискореної амортизації (кумулятивний метод) – цільовий метод більш швидкого перенесення вартості основних фондів з застосуванням диференційованих за роками нормами амортизаційних відрахувань (у перші роки експлуатації – збільшених, в останні – різко зменшених).

Витрати на амортизаційні відрахування:

$$\Phi_a = N_a \cdot K, \quad (5.10)$$

де N_a – норма амортизаційних відрахувань ($N_a = 10 \%$).

$$\Phi_{\text{аб}} = 0,1 \cdot 6714,9 = 671,49 \text{ (грн)},$$

$$\Phi_{\text{ан}} = 0,1 \cdot 5279,85 = 527,985 \text{ (грн)}.$$

5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Витрати на електроенергію знаходимо за формулою:

$$E_e = \frac{P}{\eta} \cdot B \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_{\text{вм}} \cdot K_3, \quad (5.11)$$

де B – вартість електроенергії ($B = 2,366$ грн./кВт-год);

P – установлена потужність (2,2 кВт);

η – ККД установки;

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи в рік;

$K_{\text{вм}}$ – коефіцієнт ввімкнення (використання за часом);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю).

Ефективний фонд робочого часу для двох варіантів при режимі роботи в 1 зміну протягом 95 % часу за рік становить:

$$\Phi_{\text{еф}} = 365 \text{ дні} \times 24 \text{ год.} \times 0,95 = 8322 \text{ (год)}.$$

$$E_{\text{еб}} = \frac{2,2}{0,74} \cdot 1,24 \cdot 8322 \cdot 0,85 \cdot 0,75 = 13334,88 \text{ (грн)}.$$

$$E_{\text{ен}} = \frac{2,2}{0,91} \cdot 1,24 \cdot 8322 \cdot 0,85 \cdot 0,75 = 10843,75 \text{ (грн)}.$$

5.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Поточний ремонт електроустаткування здійснюється на місці встановлення з його відключенням і зупинкою силами змінного ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт включають витрати на комплектуючі і запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні та витрати на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи.

Заплановані витрати на поточний ремонт і обслуговування при базовому варіанті становлять 10 %, а при новому 2,5 %, так як надійність

нової системи автоматизації вища і це обумовлює зменшення затрат на ремонт та обслуговування.

$$Z_{pb} = 0,1 \cdot K_b, \quad (5.12)$$

$$Z_{pb} = 0,1 \cdot 2207137,95 = 220713,79 \text{ (грн)}.$$

$$Z_{pn} = 0,025 \cdot K_n, \quad (5.13)$$

$$Z_{pn} = 0,025 \cdot 2302177,95 = 57554,45 \text{ (грн)}.$$

5.2.5 Розрахунок витрат на допоміжні матеріали

Витрати на допоміжні матеріали для ремонту та обслуговування при базовому варіанті складають 15 %, а при новому 5 % від фонду оплати праці:

$$Z_{mb} = 0,15 \cdot \Phi, \quad (5.14)$$

$$Z_{mb} = 0,15 \cdot 60877,97 = 9191,69 \text{ (грн)}.$$

$$Z_{mn} = 0,05 \cdot \Phi, \quad (5.15)$$

$$Z_{mn} = 0,05 \cdot 60877,97 = 3043,89 \text{ (грн)}.$$

Повні експлуатаційні витрати:

$$Z_e = Z_{en} + Z_p + Z_a + Z_m + \Phi, \quad (5.16)$$

- для базового варіанту:

$$Z_b = 11076,55 + 220713,79 + 220713,79 + 9131,69 + 60877,97 = 522513,81 \text{ (грн)}.$$

- для нового варіанту:

$$Z_n = 9007,3 + 57554,45 + 230217,79 + 3043,89 + 60877,97 = 360701,4 \text{ (грн)}.$$

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Усі підприємства повинні дбати про безпеку праці і піклуватися про здоров'я своїх працівників. До обов'язків роботодавця входить розробка заходів по охороні праці, які повинні гарантувати безпечні і здорові умови праці на робочому місці. На жаль, сучасний стан організації праці при відсутності наукових та проектних розробок нових технологій, наявності недосконалого обладнання і управлінських рішень щодо безпечних умов праці, не гарантує стовідсоткової безпеки працівникам. Тому на підприємствах для відшкодування впливу небезпечних і шкідливих чинників виробництва на організм людини застосовується система пільг і компенсацій. Так, робітники, які працюють в умовах, що не відповідають нормам безпеки і санітарним нормам, користуються пільгами та отримують компенсацію.

Оцінка стану охорони праці на підприємстві в цілому базується на аналізі даних атестації робочих місць, паспортизації санітарно-технічного стану цехів та відділів, результатах виконання комплексних планів покращення умов праці та санітарно-оздоровчих заходів, а також на динаміці показників виробничого травматизму та професійних захворювань.

Основним завданням охорони праці на підприємствах є поліпшення умов праці. При створенні умов, що відповідають нормам безпеки і виробничої санітарії, зникає необхідність в витратах на пільги та компенсацію, підвищується продуктивність праці, що покращує психологічний клімат у колективі і матеріальне становище підприємства.

Уданій магістерській роботі розглядається питання діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів частоти.

При обслуговуванні перетворювача частоти на оперативно-ремонтний персонал впливають наступні шкідливі та небезпечні фактори:[12.0.003-74*]

Фізичні:

- недостатність освітлення робочої зони;

- недостатність природного освітлення;
- підвищений рівень шуму;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини;
- підвищений рівень запиленості робочої зони ;
- пряма та відбита блискучість;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена вологість повітря у робочій зоні.
- підвищена та понижена рухомість повітря

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (статичні);
- нервово-психічні перевантаження (перенапруження аналізаторів, емоційне перевантаження);

6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації перетворювача частоти

Живлення здійснюється від підстанції 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. У приміщенні цеху(рисунок 6.1) висота якого складає 3м, площа приміщення цеху складає 2000 м², використовується трифазна чохирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/ 220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умовн праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

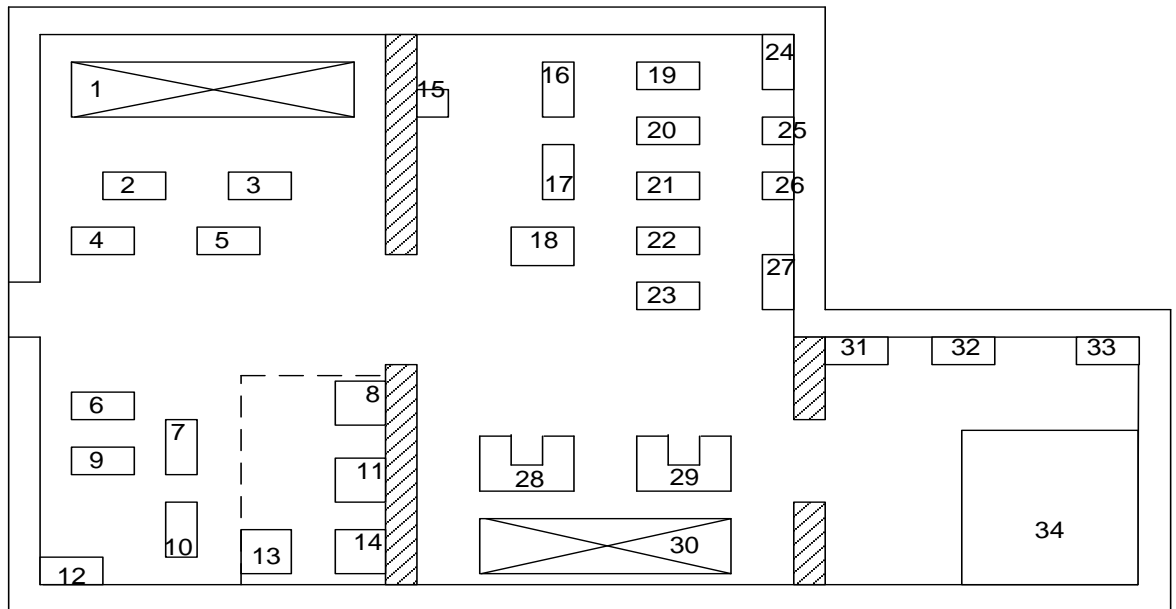


Рисунок 6.1 – План цеху

Таблиця 6.5 – Відомості про електричне устаткування цеху

№ на плані	Цех
1, 30	Кран-балка ПВ 40%
2, 6, 18	Прес
3-5	Фрезерувальний верстат
7, 10	Трубозгинальний верстат
9, 26	Шліфувальний верстат
8, 11, 13, 14	Зварювальний трансформатор ПВ 25%
12, 24, 31	Вентилятор
15, 27	Сушильна шафа
16, 17	Гартівна піч
19-23	Токарний верстат
25, 34, 37	Свердлильний верстат
28, 29	Електрованна
32, 36	Електромолот
38	Поворотний кран
33, 40	Вентилятор горну

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів керування і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ У місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізолюваних проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона – для ланцюгів керування.

Обов'язкова установка захисного заземлення і занулення та захисного відключення. При роботі з електроустановками існують основні і додаткові електрозахистні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошинування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх щдготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивішується плакат "Працювати тут".

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. Фактори підвищеної небезпеки - це підвищена температура повітря - більше за 35°C, вологість більше 75%, струмопровідна підлога, струмопровідний пил, можливість одночасного контакту обслуговуючого персоналу з корпусом споживача електроенергії та з металоконструкціями, що мають контакт із землею. Фактори особливої небезпеки: вологість повітря в приміщеннях близька до насичення, конденсація вологи на поверхні устаткування та будівельних конструкціях; агресивне середовище, що призводить до руйнування ізоляції чи біологічне середовище, що у вигляді плісняви утворюється на обладнанні та струмопровідних елементах; одночасна наявність двох і більше факторів підвищеної небезпеки Умови поза приміщенням (на відкритому повітрі) прирівнюються до особливо небезпечних.

Після цього наводяться три групи технічних рішень щодо запобігання електротравмам:

1.Технічні рішення із запобігання електротравм від контакту з нормально струмовідними елементами електроустаткування - що

передбачено проектом для запобігання контакту персоналу з нормально струмовідними елементами або ж для зменшення тяжкості наслідків при такому контакті;

2. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам при переході напруги на нормально неструмовідні елементи електроустаткування;

3. Електрозахисні засоби.

Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом згідно ПУЕ повинен застосовуватись будь-який з наступних технічних заходів: заземлення, занулення, захисне відключення, застосування малої напруги і розділяючих трансформаторів, вирівнювання потенціалів, подвійна ізоляція.

Корпуса електричних машин, металічні кожухи і шафи електричної апаратури, труби, в яких прокладені кабелі, повинні надійно з'єднуватись з металічними конструкціями стенда. Опір заземлюючого пристрою, який використовується для заземлення електрообладнання напругою до 1 кВ, повинен бути не більше 4 Ом. Заземлююче з'єднання металічних частин електрообладнання з конструкціями стенда виконують за допомогою спеціальних болтів розміром М3. Для невеликих апаратів керування, а також ящиків опорів заземлення допускається виконувати через залужену площадку під кріпильні болти металічного кожуха. Переріз заземлюючих мідних провідників повинен бути не менший за 4 мм^2 .

В чотирьох провідних мережах з заземленою нейтраллю металічні корпуси електрообладнання крана з'єднують з нульовим провідником.

При обслуговуванні електрообладнання слід використовувати переносні лампи малої напруги. В електроустановках до 1000 В, до яких відноситься даний стенд, основними засобами індивідуального захисту є діелектричні рукавички та інструмент з ізольованими ручками. До додаткових захисних засобів відносяться діелектричні калоши, боти, діелектричні гумові килимки та ізолюючі підставки.

При експлуатації та ремонті перетворювача частоти необхідно дотримуватися наступних основних правил техніки безпеки:

1. Фахівець повинен візуально обстежити стенд у відповідності з інструкцією по експлуатації і переконатися в його повній справності;

2. Забороняється експлуатація перетворювача частоти з несправним керуванням, і звуко/світловими сигналами. Якщо немає можливості усунення пошкодження на місці своїми силами, необхідно залучити до робіт фахівців спеціалізованої організації.

3. Забороняється керування перетворювачем частоти або замасленими руками;

4. Роботи по монтажу і модернізації системи керування проводяться за допомогою справного інструменту.

Для забезпечення безпечного ведення робіт обслуговуючий персонал зобов'язаний суворо дотримуватись правил техніки безпеки при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті. Недотримання правил техніки безпеки може призвести до отримання травм та втрати працездатності.

В чотирьох провідних мережах з заземленою нейтралю металеві корпуси електрообладнання з'єднують з нульовим провідником.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплені елементи захисту. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи стенда.

Для надання першої медичної допомоги при нещасних випадках повинна бути аптечка з набором необхідних перев'язочних матеріалів та медикаментів.

Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмопровідних частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять в рух, необхідно зупинити двигун і на його пусковому пристрої або ключі керування, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ним

механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засуви і шибери цих механізмів, а також вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Забороняється знімати захист тих частин електродвигунів, що обертаються під час їх роботи.

Під час роботи електродвигунів заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднують електродвигуни з РУ (збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаної з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти, заземлювати кабельну лінію не слід.

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлюють поряд з тим, на якому проводять роботи, слід вивісити плакат «Стій! Напруга» незалежно від того, чи перебувають вони у роботі чи у резерві.

6.2 Заходи безпеки при експлуатації перетворювача частоти

Ремонт та експлуатація електрообладнання повинні проводитись робітниками з відповідною професійною підготовкою, вони зобов'язані знати правила техніки безпеки відповідно займаної посади чи роботи, яку виконують і мати відповідну групу з електробезпеки. Працівники, які обслуговують електроустановки повинні мати групу електробезпеки III – в електроустановках напругою до 1000 В.

Забороняється допускати до роботи працівників з ознаками алкогольного або наркотичного сп'яніння, а також з явними ознаками захворювання.

Забороняється виконання розпоряджень та завдань, що суперечать вимогам правил техніки безпеки.

Організаційними заходами, якими досягається безпека робіт в електроустановках, є: затвердження переліку робіт, що виконується за нарядами, розпорядженнями і в порядку поточної експлуатації; призначення

осіб, відповідальних за безпечне проведення робіт; оформлення робіт нарядом, розпорядженням, , що виконується в порядку поточної експлуатації; підготовка робочих місць; допуск до роботи; нагляд під час виконання робіт; переведення на інше робоче місце; оформлення перерв в роботі та її закінчення.

Технічні заходи, якими створюються безпечні умови виконання робіт, є: підготовка робочого місця; вимикання (зняття напруги); вивішування плакатів безпеки, обгородження робочого місця; перевірка відсутності напруги; встановлення заземлень.

Загальні вимоги безпеки на підприємстві: ремонт електроустановок повинен проводитись при умові відсутності живлячої напруги, захищення рухомих частин обладнання, забезпечення пожежо-вибухобезпеки технологічних процесів, застосування засобів колективного та індивідуального захисту робітників (спецодяг, взуття, окуляри та ін.), раціональна організація праці та відпочинку з метою профілактики психофізіологічно небезпечних і шкідливих виробничих факторів (одноманітність, гіподинамії та ін.), обмеження тяжкості праці. Працівники повинні бути забезпечені кімнатами відпочинку, туалетами, умивальниками, душовими кімнатами.

Підвищенню безпеки сприяють гігієнічні умови праці в виробничих приміщеннях: раціональне освітлення робочих місць, інтер'єрів і проходів, шумовий клімат, мікроклімат, загазованість і запиленість повітряного середовища

6.3 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.3.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99 .

Для безпеки як обслуговуючого персоналу, так і інших осіб, причетних до експлуатації установки, необхідно захистити їх від небезпечних і шкідливих факторів, що наявні в даному приміщенні.

При організації робочого місця, визначенню робочих операцій та виборі керування машинами, приладами і агрегатами необхідно керуватися принципами економії руху, котрі сприяють збільшенню продуктивності праці та зниженню втомленості, знижують кількість помилок і травматизму.

Під мікрокліматом розуміється стан повітряного середовища, яке характеризується температурою, вологістю та швидкістю руху повітря.

Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату не повинна відхилятися більше ніж на 2°C від діапазону норм. Якщо температура поверхонь нижче чи вище оптимальної температури, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

Забруднення повітря призводить до зниження працездатності і погіршенню праці людини. Найбільш ефективний засіб боротьби з шкідливими речовинами: пилом, вологою, шкідливими парами є вентиляція. Компресорна установка оснащена загально-обмінною витяжною вентиляцією.

Робота в приміщенні виконується на постійних робочих місцях, стоячи, тому її можна віднести до категорії робіт 1б. Допустимі норми температури, відносної вологості та руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення наведено в таблиці 5.1.

У відповідності ССБТ метеорологічні умови визначаються для робочої зони на висоті до 2 м над рівнем підлоги.

Таблиця 6.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні виробничих приміщень з категорією робіт 1б

Період року	Категорія робіт	Температура, °С		Відносна вологість	Швидкість руху, χ
		Допустима	Допустима		
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
холодний	1б	20-24	17-25	75	Не більше 0,2
теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-03

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

в теплий період року встановлення додаткового вентиляційного обладнання;

вологе прибирання тощо.

6.3.2 Виробниче освітлення

При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків та зняття неточних даних; 5% травм на виробництві можна пояснити недостатнім освітленням, а у 20% випадків воно стало причиною їх виникнення. Погане освітлення може призвести також і до виникнення професійних захворювань.

У якості виробничого освітлення використовується природне, штучне та змішане освітлення. Природне та штучне освітлення нормується згідно в залежності від характеру зорової роботи, фону і контрасту об'єкта з фоном. Для природного освітлення регламентують коефіцієнт природної освітленості (КПО), %; для штучного – найменшу освітленість на робочих поверхнях у виробничих приміщеннях.

Маємо: характер зорової роботи – середня точність; розряд – IV; під

розряд зорової роботи – б; контраст об’єкту розпізнання – середній; характеристика фону – темний; штучне освітлення, лк – загальне 200, комбіноване 400; КПО, е – бокове: природне 1,5, суміщене 0,9.

Природне освітлення нормується коефіцієнтом природного освітлення (КПО) або е.:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (6.1)$$

де e_i - значення КПО за таблицею 1.2, ($e_H = 0,9$);

m_N - коефіцієнт світлового клімату, ($m_N = 1,5$);

N – номер групи забезпеченості природним світлом. Орієнтація світлових прорізів здійснюється за північно-західною стороною.

$$e_N = 0,9 \cdot 1,5 = 1,35\%.$$

Нормовані значення наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Нормативи освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об’єкту розпізнання, мм	Розряд зорової роботи	Під розряд зорової роботи	Контраст об’єкта розрізне роз з фоном	Характер фону	Освітленість, лк		КПО, е, %	
						Комбіноване	Загальне	Природне освітлення	Суміщене освітлення
Середня точність	0,5-1	IV	б	Середній	Середній	400	200	1,5	0,9

В якості природного освітлення вибрано бокове освітлення. Згідно діючим нормам в приміщенні повинні бути передбачені світлові прорізи в стіні для забезпечення природного освітлення.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином люмінесцентні лампи, так як їм властиві наступні переваги: висока світлова віддача (до 75 лм/Вт і більше); тривалий період використання (до 10000 годин); невисока яскравість поверхні, що світиться; спектральний склад випромінюючого світла (для більшості люмінесцентних ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно враховувати і недоліки цих ламп, а саме: висока пульсація світлового потоку та викликана цим можливість стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння ламп необхідне включення послідовно з ними пускорегулюючих апаратів; робота здатність ламп залежить від температури оточуючого середовища; до кінця терміну експлуатації світловий потік знижується більше ніж на половину від номінального.

6.3.3 Виробничий шум

В ході технологічного процесу в приміщенні, де встановлено перетворювач частоти, працюють двигуни, тому можемо виділити такий небезпечний фактор, як шум. Зростання рівня виробничих шумів, які сильно перевищують нормативні значення, шкідливо впливає на організм людини, знижує продуктивність праці та стає фактором ризику і виробничого травматизму. У замкненому просторі (виробниче приміщення) звукові хвилі багато разів відбиваються від огорожувальних поверхонь, якими є стіни, стеля, підлога. При цьому рівень шуму зростає, так як за умов утворення дифузного звукового поля має місце накладання відбитої звукової хвилі на пряму.

Основним механізмом, що спричиняє шум є: приводний двигун та виробничий механізм;

Найбільш раціональний спосіб зниження шуму установки – це зниження шуму безпосередньо в джерелі утворення, або зміна напрямку його поширення. Але можна рекомендувати застосування менш шумного обладнання.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні шуму в компресорній установці наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Допустимі рівні звукового тиску та рівні шуму

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ в октавних полосах із середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Пониження рівня шуму, який проникає з джерела утворення назовні можна отримати шляхом підвищення рівня звукоізоляції огорожуючи конструкцій. Звукопоглинання є найбільш простим і в той же час достатньо ефективним способом зменшення шуму у виробничих приміщеннях. Звукопоглинаюче облицювання слід розміщувати на стелі та верхній частині стін (вище 1,5 – 2 м). Найбільше поглинання шуму досягається при облицюванні більше 60 % площі від загальної площі поверхонь приміщення. Ефект поглинання шуму збільшується зі зменшенням висоти приміщення.

6.3.4 Виробнича вібрація

Вібрація – це процес розповсюдження механічних коливань різного виду у твердому тілі з частотою від 3 до 100 Гц. Вібрація має велику біологічну активність і несприятливо впливає на організм людини,

викликаючи зміни у функціональному стані вестибулярного апарату, нервової та серцево-судинної системи, погіршує самопочуття і може призвести до розвитку професійних захворювань. На лабораторному стенді джерелом вібрації є двигун, вентилятор, генератор, тощо.

Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньо геометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація	0,18 / 91	0,06 3 /82	0,032 / 76	0,028 / 75	0,028 / 75	0,028 / 75	-	-	-	-
В приміщеннях робітників	-	-	2,8/ 115	1,4/ 109	1,4/ 109	1,4/ 109	1,4 / 10 9	1,4 / 10 9	1,4 / 10 9	1,4/ 109

Для захисту від загальної вібрації на ділянці застосовують віброізоляцію. На ділянці на робітників діє загальна та локальна вібрація.

Згідно ДЕСТ 12.1.012-90 категорія вібрації за санітарними нормами – 3 тип "а" – технологічна вібрація, що діє на операторів стаціонарних машин і обладнання, або яка передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації. Санітарні норми одно числових показників вібраційної завантаженості на людину при тривалості зміни 8 годин наведено в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Санітарні норми вібраційної завантаженості на людину

Вид вібрації	Спрямованість дії	Нормативні кореговані за частотою та еквівалентні кореговані значення			
		Віброприскорення		Віброшвидкість	
		$m \cdot c^{-2}$	дБ	$m \cdot c^{-1} \cdot 10^{-2}$	дБ
Загальна	X_0, Y_0, Z_0	0,1	100	0,2	92

Основними засобами колективного захисту є: зниження вібрації впливом на джерело збудження, динамічне гасіння коливань та зміна конструктивних елементів пристроїв та будівельних конструкцій.

Отже після дослідження умов роботи оперативного персоналу на робочого місці провели технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії. А саме: визначили безпечні умови праці, техніку безпеки при роботі на верстаті, визначили оптимальні параметри мікроклімату, виробничого освітлення, виробничого шуму і виробничої вібрації.

6.4 Дослідження безпеки роботи перетворювача частоти в умовах дії загрозливих чинників НС.

Перетворювачі частоти являють собою повністю електронний комплекс, який є дуже вразливими до дії загрозливих чинників, що виникають у надзвичайних ситуаціях. Перетворювачі частоти входять до складу електроприводів, зокрема прецизійних, збої в роботі яких призводять до застою виробництва, що в свою чергу завдає значних матеріальних збитків та знижує якість готової продукції, а в деяких випадках може призводити до нещасних випадків.

В залежності від виду радіаційного випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища дія радіації на матеріали та обладнання є різною. Найбільш чутливими елементами перетворювача

частоти до дії іонізуючого випромінювання є мікроконтролери що входять до складу системи керування та електронної обв'язки, а також силові напівпровідникові модулі, якими можуть слугувати транзистори а в високовольтних перетворювачах частоти – тиристори.

В результаті опромінення перетворювача частоти в мікросхемах та транзисторах зміниться провідність і внутрішнє нагрівання; струм який протікає через резистори змінюється, що може призвести до виходу їх з ладу.

Серед загрозливих чинників надзвичайних ситуацій особливо сильно впливає на перетворювач частоти електромагнітний імпульс. Саме він може призвести до перегріву та загорання чутливих електронних елементів таких як транзистори та мікросхеми. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи мікросхем, викликає коротке замикання. Ці наслідки від його дії в подальшому можуть призвести до пожежі. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

6.5 Дослідження безпеки роботи перетворювача частоти в умовах дії іонізуючих випромінювань

В якості критерію оцінки безпеки перетворювача частоти можна використовувати граничне значення рівня радіації.

$$P_{гр} = K \cdot P_{зв} [p/c], \quad (6.3)$$

де $P_{зв}$ – рівень радіації, який відповідає початку зворотних змін в елементах;

K – коефіцієнт надійності (приймемо $K=0,95$);

В таблиці 5.6 для кожного елементу наведені граничні значення потужності дози опромінення, при якій в елементах можуть виникнути зворотні процеси.

Таблиця 6.9 – Граничні значення експозиційних доз

№	Блоки (елементи)	Елементна база	$P_{зв}, p/c$	$P_{гр}, p/c$
1	Блок живлення	Мікросхема DC 5871 Мікросхема AN6353	10^6	10^4
2	Система керування	Мікросхема МOC3052-М, Мікросхема ВТА140	10^5	
		.Компаратор lm158-n	10^5	
		Мікропроцесор	10^4	
3	Силові елементи	Транзистор IGBT	10^4	
		Транзистор MOSFIT	10^4	

Проаналізувавши дані таблиці 5.9 визначили, що самим уразливим елементом системи з мінімальною дозою $P_{гр}=10^4P$ є мікропроцесор та транзистори. Блок живлення в разі дії на нього іонізуючих випромінювань можна віддалити від самої системи, щоб збільшити його стійкість. Тоді:

$$P_{гр} = 0,95 \cdot 10^6 = 9,5 \cdot 10^5 (p/c),$$

Враховуючи коефіцієнт послаблення $K_{посл}=1$, маємо:

$$P_{гр} = 0,95 \cdot 10^6 \cdot 3 = 2,85 \cdot 10^6 (p/c).$$

Отже, безпечною робота перетворювача частоти буде в тому разі, якщо граничне значення рівня радіації в умовах експлуатації не перевищуватиме $P_{гр} = 2,85 \cdot 10^6 (p/c)$.

6.5.1 Дослідження безпеки роботи перетворювача частоти в умовах дії електромагнітного імпульсу

Критерієм оцінки безпеки є коефіцієнт:

$$K_{\sigma} = 20 \cdot \lg \left(\frac{U_d}{U_{в(\Gamma)}} \right) \geq 40 \text{ дБ}, \quad (6.4)$$

де U_d – допустиме коливання напруги живлення, В;

$U_{в(\Gamma)}$ – напруга наведена за рахунок електромагнітних випромінювань в вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах, В.

Оцінка безпеки здійснюється в такій послідовності.

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_d = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N, \quad (6.5)$$

де N – коливання напруги ($N=5\%$).

Допустимі коливання напруги живлення для:

- блока живлення:

$$U_d^I = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231(\text{В}),$$

- мікропроцесорного комплексу:

$$U_d^{II} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,25(\text{В}),$$

- силових елементів:

$$U_d^{III} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,25(\text{В}).$$

Допустима наведена напруга при горизонтальному ($K_v=40$ дБ):

$$40 = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_d}{U_{в(\Gamma)}}\right), \quad (6.6)$$

Звідси:

$$U_{Г.БЖ} = \frac{U_d^I}{100} = \frac{231}{100} = 2,31(\text{В}),$$

$$U_{\Gamma.\text{МПК}} = \frac{U_{\text{д}}^{\text{II}}}{100} = \frac{5,25}{100} = 0,0525(\text{В}),$$

$$U_{\Gamma.\text{СЕ}} = \frac{U_{\text{д}}^{\text{III}}}{100} = \frac{5,25}{100} = 0,0525(\text{В}).$$

Максимальна довжина струмоведучої частини рН-метра $l_i=1,5$ м. Тоді допустимі значення вертикальних складових напруженостей електричних полів для БЖ, МПК, СЕ можна знайти з формули:

$$E_{\text{в}} = \frac{U_{\Gamma}}{l_i}, \quad (6.7)$$

$$E_{\text{в.БЖ}} = \frac{2,31}{1,5} = 1,54 (\text{В/м}),$$

$$E_{\text{в.МПК}} = \frac{0,0525}{1,5} = 0,035 (\text{В/м}),$$

$$E_{\text{в.СЕ}} = \frac{0,0525}{1,5} = 0,035 (\text{В/м}).$$

Таким чином, безпечна робота рН-метра впродовж експлуатаційного терміну буде забезпечена за умови, що $E_{\text{в}}=1,54$ (В/м).

6.5.2 Заходи щодо підвищення безпеки роботи перетворювача частоти в умовах дії загрозливих чинників НС

З попередніх розрахунків випливає, що для безпечної перетворювача частоти в умовах іонізуючого випромінювання та електромагнітного імпульсу необхідно, щоб граничне значення рівня радіації в умовах експлуатації не перевищувало $2,85 \cdot 10^6$ (р/с), а вертикальна складова напруженості електричного поля – 1,54 (В/м).

Для зменшення впливу іонізуючого випромінювання, забарвлення стін, стелі та дверей у приміщеннях, а також влаштування підлоги виконуються

таким чином, щоб виключити накопичення радіоактивного пилу та уникнути поглинання радіоактивних аерозолів, пари і рідин оздоблювальними матеріалами (фарбування стін, дверей і в деяких випадках стель повинна проводитися олійними фарбами, підлоги покриваються матеріалами, не вбираючими рідини, - лінолеум, поліхлорвініловим пластиком та ін.). Так як перетворювач частоти можна встановлювати як на щиті так і в шафі, то повинні бути встановлені захисні екрани (стаціонарні чи пересувні). Екрани виготовляють з різних матеріалів. Їх товщина залежить від виду іонізуючого випромінювання, властивостей захисного матеріалу і необхідної кратності ослаблення випромінювання.

ЕМІ уражає радіоелектронну і радіотехнічну апаратуру. Найбільш уразливими елементами обладнання є напівпровідникові прилади — транзистори, діоди, кремневі випрямлячі, інтегруючі ланцюги, цифрові процесори, управляючі й контрольні прилади. Ідеальним захистом від ЕМІ стало б повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевим екраном. В той же час ясно, що практично забезпечити такий захист у ряді випадків неможливо, так як для роботи апаратури часто вимагається забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому необхідно використовувати засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки або плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітрозабірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладення, що розміщуються по периметру дверей і люків.

ВИСНОВКИ

Основні результати роботи полягають в наступному:

Здійснено аналіз існуючих систем методів діагностування ланки постійного струму перетворювача частоти.

1. Розроблено математичну модель вейвлет-діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти перетворювачів частотно-керованих асинхронних електроприводів, застосування якої, на відміну від відомих, дозволяє визначати ступінь наближення ланки постійного струму перетворювача частоти до аварійного в процесі роботи електропривода.

4. Розроблено математичну модель системи діагностування конденсаторів перетворювачів частоти, яка враховує динаміку зміни експлуатаційного коефіцієнта в часі, знак його похідної, що дозволяє уникнути прийняття системою хибних рішень.

3. На основі математичної моделі вейвлет-діагностування кіл постійного струму перетворювачів частотиланки постійного струму перетворювачів частотирозроблено алгоритми та функціональні схеми мікропроцесорних засобів.

3. На основі математичної моделі діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювача частоти розроблено алгоритм та функціональну схему мікропроцесорного засобу, який дозволяє здійснювати діагностування конденсатора ланки постійного струму перетворювача частоти, також з високою достовірністю визначати технічний стан електрообладнання.

6. Розроблено комп'ютерні моделі перетворювача частоти та пристроїв для діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Крюков О. В. Алгоритмы технической диагностики регулируемых асинхронных электроприводов / О. В. Крюков, В. В. Марков // НГТУ, Россия – [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://aep.at.ua/ld/0/1_Algor_Tehn_diag.pdf.
2. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Основные термины и определения.
3. Мозгалевский А.В., Койда А.Н. Вопросы проектирования систем диагностирования. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. - 112 с., ил. - (Б-ка по автоматике ; Вып. 648).
4. Пархоменко П.П., Согомоян Е.С. Основы технической диагностики: (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / Под ред. Пархоменко П.П. - М.: Энергия, 1981. - 320 с., ил.
5. Мозгалевский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика (непрерывные объекты). Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1975. - 207 с.
6. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9-ти кн. Кн.5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств: Учеб. пособие для вузов/ Пантюшин С.В., Назаретов В.М., Тягунов О.А. и др. ; Под ред. Макарова И.М. - М.: Высш. шк., 1986. - 175 с., ил.
7. Кузьмин И. В., Кедрус В. А. Основы теории информации и кодирования. - 2-е изд., перераб. и доп. -К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. - 238 с.
8. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. - 2-е изд. - М.: Радио и связь, 1982. - 624 с.
9. Иган Джеймс П. Теория обнаружения сигналов и анализ рабочих характеристик. - М.: Наука, 1983. - 216 с., ил.

10. Мокін Б.І., Мокін В.Б. Математичні методи ідентифікації електромеханічних процесів. Ч.ІІ. Ідентифікація ЕМП у лінійних стохастичних системах із зосередженими параметрами/ Навч. посібник. - Вінниця: "УНІВЕРСУМ-Вінниця", 1999.-99 с.

11. Доценко Б.И. Диагностирование динамических систем. -К.: Техника, 1983. - 158 с.

12. Белый О.В., Гофман В.И. Распознавание состояний контролируемого объекта// Сборник трудов II Всесоюзного совещания по технической диагностике. Часть II. Непрерывные объекты, прогнозирование и технические средства диагноза. - Л.- 1972. - 216 с.

13. Биргер И.А. Техническая диагностика.- М.: Машиностроение, 1978. - 240 с., ил.

14. . Основы технической диагностики. В 2-х книгах /Под ред. Пархоменко П.П. - М.: Энергия, 1976.

15. Сердаков А.С. Автоматический контроль и техническая диагностика. -К.: Тэхника, 1971. - 244 с.

16. Поджаренко В. О., Кучерук В. Ю., Войтович О. П. Система діагностування безконтактних електромеханічних перетворювачів на основі нейронечітких методів. Монографія 2007. - 156 с.

17. Патент Україна на корисну модель №64994 (51) МПК G07C 3/10 (2006.01) Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів/ Грабко В. В., Бартецький А.А. Заявлено 20.04.2011, опубліковано 25.11.2011, бюл. № 22/2011

18. Патент Україна №63835 (51) МПК G07C 3/10 (2006.01) Пристрій для контролю ресурсу комутаційних апаратів/ Грабко Володимир Віталійович, Грабко Валентин Володимирович; Бальзан Ігор Вікторович; Бартецький Андрій Анатолійович, Заявлено 09.03.2011 опубліковано 25.11.2011, бюл. № 20/2011.

19. Пат. РФ. № 2484490, МПК G01R31/34(2006.01) Устройство диагностики электрических асинхронных двигателей/Хоменко Андрей

Павлович Худоногов Анатолий Михайлович Каргапольцев Сергей
Константинович Коноваленко Даниил Викторович
Опубликовано: 10.06.2013

20. Пат. РФ. № 2425391 МПК **G01R31/34** (2006.01) Способ диагностики технического состояния электродвигателя по электрическим параметрам /Козярук Анатолий Ефтихиевич Жуковский Юрий Леонидович Черемушкина Маргарита Сергеевна Коржев Александр Александрович Кривенко Александр Владимирович

21. С.Н. Флоренцев. Современное состояние и прогноз развития приборов силовой электроники. Аппаратные средства 2004 №2 20-29 с.

22. Altivar 71. Преобразователи частоты для асинхронных двигателей. Руководство по программированию. — Schneider Electric, Telemecanique. — 12 / 2005. — 262 с.

23. FR-D700 Преобразователи частоты Руководство по программированию— Mitsubishi Electric 08.12.2008—280 с.

24. MICROMASTER 440 Преобразователи частоты Руководство по программированию 12/2011 –140 с.

25. Pat. EP 1752351 A1 EU, В 60 Т 13/74 Electric brake and electric brake control apparatus / Hitachi ltd (Japan). – № 20070035178; application 09.08.2006; publ. 14.02.2007.

26. Колпаков А. И. Методы оценки надежности силовых модулей IGBT SEMIKRON в предельных режимах / А. И. Колпаков // Силовая электроника – №1(2004).-с.40-45

27. Лимонов Л. Г. Особенности тормозных режимов электроприводов по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель / Л. Г. Лимонов, А. Н. Нетеса, Л. В. Некрасова // Вестник ХПИ – №3(2004) – Харьков, ХПИ – С. 25-27.

28. . Kral C. Power Electronics Monitoring for a Controlled Voltage Source Inverter Drive with Induction Machine / C. Kral, K. Kafka // IEEE Power

Electronics Specialists Conference, 2000. – Piscataway, NJ, USA. – vol 1.1. – p. 213 – 217.

29. Abramik S. A Diagnostic Method for On-line Fault Detection and Localization in VSI-Fed AC Drive / S. Abramik, W. Sleszynski, J. Nieznanski, H. Piquet // 10th European Conference on Power Electronics and Applications, Toulouse, France. – 2003. – p. 1 – 8.

30. Шимук Р. Д. Определение диагностических признаков отказов снабберных цепей / Р. Д. Шимук, Д. С. Шимук // Світлотехніка та електроенергетика, 2011. — № 2. — С. 61-66.

31. Однокопылов Г.И., Однокопылов И.Г. Повышение живе чести частотно регулируемого асинхронного электропривода/Известия Томского политехнического университета //№7(2005)Томск 143-147 с.

32. А.О. Смирнов. С.В. Ланграф, В.С. Казано, Р.Ф. Бекишев «Исследование статических режимов работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода в условиях низких температур» Известия Томского политехнического университета №4(2009)Томск 61-63 с.

33. А.Мальцев, И Мальцев Тепловое сопротивление как показатель надежности мощных выпрямительных мостов //Силовая Электроника, № 5'2010, 54-55 с.

34. Э кушекова , И. Аитов, Повишение надежности тиристорных преобразователей частоты для электротехнических установок// Силовая Электроника, № 1'2009, 56-62с

35. ГОСТ 19656.15-84 //Диоды полупроводниковые СВЧ. Методы измерения теплового сопротивления переход-корпус и импульсного теплового сопротивления.// Москва 21с

36. Оробей .В.Ф; Максимов В.Г; «Загальні принципи діагностування електронних систем» Навчальний посібник,виданицво №45 «Наука і техніка», 2012.–392 с.

37. Пат. РФ, МПК G01R 31/34, Рожков В.И., Попов Е.А., Верещагин Г.А, _№2373548,бюл№32, 20.11.2009 «Способ диагностирования повреждений частотноре-гулируемого асинхронного двигателя»

38. Пат. RU, G01R31/26, G01R31/28, Устройство диагностирования тиристорного преобразователя /Топчий А.А., _№ 2133042,бюл№25, 10.07.1999

39. Пат. RU, МПК G01R 31/27, Способ диагностирования тиристорного преобразователя /Топчий А.А, _№ 2133043, 10.07.1999

40. Пат. SU, G01R31/27, Бырин В.Н,Целемечкий В.А., Чясаков Г.С., № 1035537, 15.08.1983, «Способ контроля неисправности полупроводниковых приборов»

41. Пат RU G01R31/26 (2006.01), Устройство для измерения теплового сопротивления переход корпус полупроводникового прибора// Мальцев Иван Алексеевич Мальцев Алексей Александрович №2392631 09.06.2009

42. Пат.RU H02H7/12 **Устройство для диагностики и защиты реверсивного тиристорного преобразователя/** Ключев В.И.,Миронов Л.М. Ключев В.И.,Миронов Л.М. № 2183896 20.06.2002

43. Пат.SU H02H7/125 Способ контроля и коммутации управляемых вентелей и устройство для его осуществления// Мещеряков Н.Б. №2115989 , 20.07.1998

44. Левицький С. М. Математична модель системи діагностування силових модулів перетворювачів частоти / С. М. Левицький, М. П. Розводюк, К. І. Колмачов // Вісник ВПІ. – №4(2012). – С. 51 – 56. – ISSN 1997-9266.

45. Андрей Колпаков « Методы оценки надёжности силовых модулей IGBT SEMIKRON в предельных режимах» Силовая Электроника №1(2004) С 40-45

46. Левицький С. М. Математична модель системи діагностування силових модулів перетворювача частоти/ С. М. Левицький, Бартецький// Тези доповідей II міжнародної наукової-технічної конференції « Вимірювання,

контроль та діагностика в технічних системах» ВНТУ м. Вінниця, 2013р, с 239.

47. Герман-Галкин С. Школа Matlab. Моделирование устройств силовой электроники / С. Герман-Галкин // М.:Силовая электроника – №4(2008) – С. 23-28.

48. Левицький С. М. Математична модель системи діагностування гальмівних кіл частотних електроприводів / С. М. Левицький, Бартецький // Вісник ВПІ. – №4(2013). – С.79 – 83. – ISSN 1997-9266.

49. Левицький С. М. Спосіб діагностування гальмівних кіл частотних електроприводів/ С. М. Левицький, Бартецький// Тези доповідей II міжнародної наукової-технічної конференції «Оптимальне керування електроустановкам» ВНТУ м. Вінниця, 2013р, с 63.

50. Boldea I., Nasar S. A. Electric Drives./ Boldea I // CRC Press, Boca Raton. : London, New York, Washington D. C., 1999. – 350 p.

51. Pat. EP 1 610 454 B1 EU, G01R 27/14 Determining a temperature of a brake resistor/ Still, Ludwig 64683 Einhausen (DE)– № : 05090156.0; application 23.06.2004 ; publ. 28.12.2005 Bulletin 2005/52.

52. Вершинин О.Е. Применение микропроцессоров для автоматизации технологических процессов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 208 с.

53. Применение микропроцессорной техники для регулирования напряжения в электрических сетях / Н.Г. Вишняков, В.И. Кочкин. В.К. Стрюцков // Обз. инф. Сер. Средства и системы управления в энергетике. // Информэнерго. – 1990. – №2. – С. 1–58.

54. Франке К. Введение в микро-ЭВМ: Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.

55. Проектирование микропроцессорной электронно-вычислительной аппаратуры: Справочник/ В.Г. Артюхов, А.А. Будняк, В.Ю. Лапий и др. – К.: Техника, 1988. – 263 с.

56. Гилмор Ч. Введение в микропроцессорную технику. – М.: Мир, 1984. – 334 с.
57. Шевкопляс Б.В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения: Справочник. – 2-е изд. перераб и доп.– М.: Радио и связь, 1990. – 512 с.
58. Микропроцессоры и микропроцессорные комплекты интегральных микросхем: Справочник: В 2-х т. / Под ред. В.А. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1988.
59. Коффрон Дж. Технические средства микропроцессорных систем. Практический курс: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 344 с.
60. Весноватов М.Г., Карацуба Г.В., Павлов В.В., Старшова В.А. Перспективные однокристалльные ЭВМ// Микропроцессорные средства и системы. – 1986. - № 1. – С. 19 – 27.
61. Микропроцессоры и микропроцессорные комплекты интегральных микросхем: Справочник /Б.Б. Абрайтис, Н.Н. Аверьянов, А.И. Белоус и др. – М.: Радио и связь, 1988. – 368 с.
62. Фридмен М., Ивенс Л. Проектирование систем с микрокомпьютерами. – М.: Мир, 1986. – 405 с.
63. Мелик-Шахназаров А.М., Маркатун М.Г., Дмитриев В.А. Измерительные приборы со встроенными микропроцессорами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
64. Мирский Г.Я. Микропроцессоры в измерительных приборах. – М.: Радио и связь, 1984. – 160 с.
65. Липовецкий Г.П., Литвинский Г.В., Оксинь О.Н. и др. Однокристалльные микро-ЭВМ. Семейство МК48 и МК51.- М.: МП "Бином".- 1992.- 339 с.
66. Гребнев В.В. Однокристалльные микро-ЭВМ семейства AT89 фирмы Atmel.- Санкт-Петербург: ЭФО.-1998.- 76 с.
67. А. В. Чермалых, " Имитационное моделирование режимов работы конвейерной установки с учетом упругости ленты" А. В. Чермалых,

к.т.н., доц., И. Я. Майданский, инж., Т. А. Ткаченко, студы “КПИ”, г.
Киев, №1/2011, с 318-319.

Додаток А

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ПОГОДЖЕНО

заст. декана ФЕЕЕМ з НМР
_____ Бурикін О.Б.

“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕМСАПТ
_____ д.т.н., проф. В.М. Кутін

“ ____ ” _____ 201_ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

Діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти
08-16.МКР.007.00.000 ТЗ

Керівник роботи

доц. Проценко Д.П.

“ ____ ” _____ 201_ р.

Розробив студ. гр.ЕМ-18м.

Паршенко К.А.

“ ____ ” _____ 201_ р.

Вінниця ВНТУ 2019

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки «Діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти».

Скорочене найменування розробки – «Діагностування ПЧ». Замовник – кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Система діагностування ланки постійного струму перетворювача частоти призначена для визначення поточного стану ланки постійного струму ПЧ, а також попередження його передчасного поломки. Галузь використання – важка промисловість, міський електротранспорт.

5 Комплектація розробки

Мікропроцесорний пристрій, лінія зв'язку, блок живлення, нормовані перетворювачі сигналів, сенсори температури та напруги струму.

7 Джерела розробки

1. Левицький С. М. Математична модель системи діагностування силових модулів перетворювачів частоти / С. М. Левицький, М. П. Розводюк, К. І. Колмачов // Вісник ВПІ. – №4(2012). – С. 51 – 56. – ISSN 1997-9266.
2. Андрей Колпаков « Методы оценки надёжности силовых модулей IGBT SEMIKRON в предельных режимах» Силовая Электроника №1(2004) С 40-45

3. Левицький С. М. Математична модель системи діагностування силових модулів перетворювача частоти/ С. М. Левицький, Бартецький// Тези доповідей II міжнародної наукової-технічної конференції « Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» ВНТУ м. Вінниця, 2013р, с 239.

4. Герман-Галкин С. Школа Matlab. Моделирование устройств силовой электроники / С. Герман-Галкин // М.:Силовая электроника – №4(2008) – С. 23-28.

5. Левицький С. М. Математична модель системи діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти частотних електроприводів / С. М. Левицький, Бартецький // Вісник ВПІ. – №4(2013). – С.79 – 83. – ISSN 1997-9266.

6. Левицький С. М. Спосіб діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти частотних електроприводів/ С. М. Левицький, Бартецький// Тези доповідей II міжнародної наукової-технічної конференції «Оптимальне керування електроустановкам» ВНТУ м. Вінниця, 2013р, с 63.

7. Boldea I., Nasar S. A. Electric Drives./ Boldea I // CRC Press, Boca Raton. : London, New York, Washington D. C., 1999. – 350 p.

8. Pat. EP 1 610 454 B1 EU, G01R 27/14 Determining a temperature of a brake resistor/ Still, Ludwig 64683 Einhausen (DE)– № : 05090156.0; application 23.06.2004 ; publ. 28.12.2005 Bulletin 2005/52.

8 Конструктивне виконання

Система автоматизації мобільної енергетичної установки виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки.

9 Показники технологічності

Система автоматизації мобільної енергетичної установки виконується на сучасній елементній базі, її монтаж, повинен відповідати правилам влаштування електроустановок.

10 Стадії і етапи розробки

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина пояснювальної записки	
Графічна частина	
Охорона праці	

11 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

12 Живлення пристрою

Живлення пристрою повинно бути виконано напругою 24В постійного струму

Додаток Б

Ілюстративні матеріали

АНОТАЦІЯ

Паршенко Костянтин Анатолійович, Діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 108с. Бібл.:11. Іл.:39. Табл.:106.

В роботі розглянуто актуальний напрям розробки і створення пристроїв діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти.

З метою підвищення надійності роботи перетворювачів частоти, визначення поточного стану їх кіл постійного струму, а також попередження передчасного поломки, було розроблено ряд методів діагностування зокрема із застосуванням математичного апарату вейвлет-перетворення. Практична реалізація запропонованих пристроїв обумовлена використанням мікропроцесорів, а також засобів програмованої логіки.

Адекватність роботи запропонованих моделей та пристроїв перевірено шляхом імітаційного моделювання їх роботи.

Ключові слова: перетворювач частоти, ланка постійного струму, ПЛІС, мікроконтролер, діагностування.

АННОТАЦИЯ

Паршенко Константин Анатольевич, Диагностика звена постоянного тока преобразователей частоты. Магистерская квалификационная работа. - Винница: ВНТУ, 2019. - 108с. Библ.: 11. Ил. 39. Табл. 106.

В работе рассмотрены актуальное направление разработки и создания устройств диагностирования звена постоянного тока преобразователей частоты.

С целью повышения надежности работы преобразователей частоты, определение текущего состояния их кругов постоянного тока, а также предупреждения преждевременного выхода из строя, был разработан ряд методов диагностирования Зорема с применением математического аппарата вейвлет-преобразования. Практическая реализация предложенных устройств обусловлена использованием микропроцессоров, а также средств программируемой логики.

Адекватность работы предложенных моделей и устройств проверено путем компьютерного моделирования их работы.

Ключевые слова: преобразователь частоты, звено постоянного тока, ПЛИС, микроконтроллер, диагностирования.

THE SUMMARY

Porshenko Konstantin, Diagnosis of DC link of frequency converters. Master's qualification work. - Vinnitsa: VNTU, 2019. - 108p. Bibl .: 11. Ill.: 39. Table: 106.

The current direction of development and creation of devices for diagnosing DC link of frequency converters is considered.

In order to increase the reliability of the frequency converters, determine the current state of their DC circuits, as well as prevent premature failure, a number of methods for diagnosing zorem using a wavelet transform mathematical apparatus were developed. The practical implementation of the proposed devices is due to the use of microprocessors, as well as means of programmable logic.

The adequacy of the proposed models and devices has been verified by computer modeling of their operation.

Keywords: frequency converter, DC link, FPGA, microcontroller, diagnostics.

Вінницький національний технічний університет
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

**Діагностування ланки постійного струму
перетворювачів частоти**

Паршенко К.А.

Керівник: к.т.н. доцент. Проценко Д.П.

Вінниця – 2019

Діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти

Метою роботи є підвищення надійності роботи перетворювачів частоти шляхом вдосконалення методів та засобів діагностування їх кіл постійного струму.

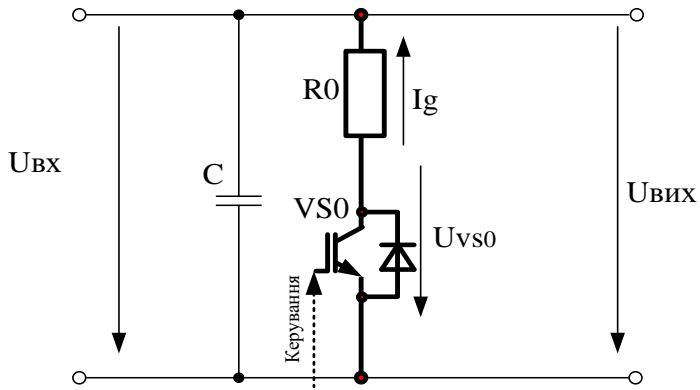
Відповідно до вказаної мети в роботі необхідно розв'язати такі **основні задачі**:

- провести огляд існуючих методів і засобів для діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти, визначити причини виходу їх з ладу ;
- розробити математичні моделі діагностування кіл постійного струму перетворювачів частоти;
- за математичними моделями розробити структурні схеми пристроїв для діагностування, що далі реалізуються на базі промислових компонентів, які виробляються серійно, або інтегрувати їх в існуючі системи діагностування перетворювача частоти;

Об'єктом дослідження є процес визначення поточного стану кола постійного струму перетворювача та процес визначення ступеня його наближення до аварійного стану.

Предметом дослідження є коло постійного струму перетворювача частоти та його складові.

Математична модель вейвлет-діагностування кола постійного струму перетворювача частоти



Ланка постійного струму перетворювача частоти

Стани	Діагностичні ознаки кола постійного струму				
	ΔU_C	U_{vs0}	I_g	T_r°	T_{vs0}°
Q_0	1	1	1	1	1
Q_1	1	0	1	1	0
Q_2	0	1	0	1	1
Q_3	0	0	1	1	0
Q_4	0	0	0	1	1

Таблиця 1 – Стани кіл постійного перетворювачів частоти

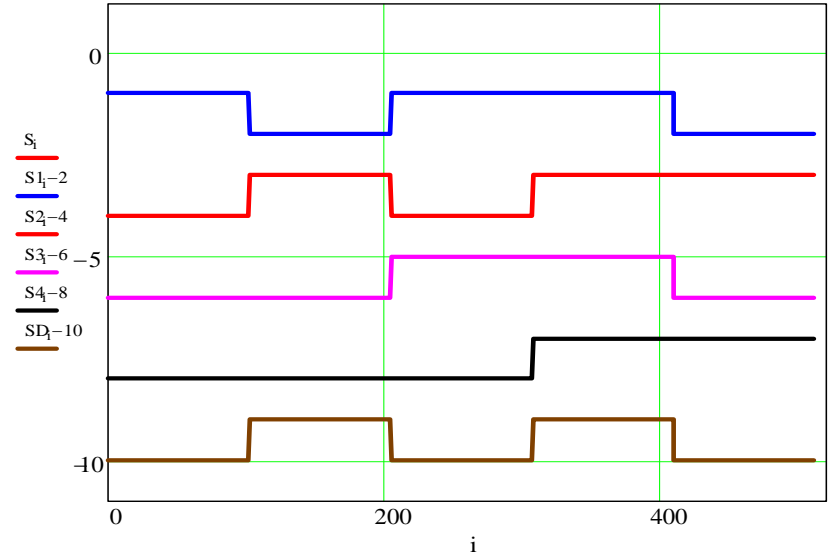
де в таблиці 1: Q_0 – справний стан; Q_1 – справний стан, з перегрівом силового модуля; Q_2 – несправний гальмівний резистор; Q_3 – критичний стан; Q_4 – несправний стан; ΔU_C – перенапруга на конденсаторі фільтра; U_{vs0} – напруга на IGBT модулі; I_g – струм через гальмівний резистор; T_r° – температура гальмівного резистора; T_{vs0}° – температура IGBT модуля, число «1» відповідає попаданню параметру і діапазон допустимих значень; «0» – виходу за межі діапазону допустимих значень відповідної діагностичної ознаки.

Математична модель вейвлет-діагностування кола постійного струму перетворювача частоти

$$S1_i = \begin{cases} 1, \text{ якщо } 0 \leq i \leq \frac{N}{5}; \\ 0, \text{ якщо } \frac{N}{5} \leq i \leq 2 \cdot \frac{N}{5}; \\ 1, \text{ якщо } 2 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 3 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, \text{ якщо } 3 \cdot \frac{N}{5} \leq i; \end{cases} \quad S3_i = \begin{cases} 0, \text{ якщо } 0 \leq i \leq 2 \cdot \frac{N}{5}; \\ 1, \text{ якщо } 2 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 4 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, \text{ якщо } 4 \cdot \frac{N}{5} \leq i; \end{cases}$$

$$S2_i = \begin{cases} 0, \text{ якщо } 0 \leq i \leq \frac{N}{5}; \\ 1, \text{ якщо } \frac{N}{5} \leq i \leq 2 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, \text{ якщо } 2 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 3 \cdot \frac{N}{5}; \\ 1, \text{ якщо } 3 \cdot \frac{N}{5} \leq i; \end{cases} \quad SD_i = \begin{cases} 0, \text{ якщо } 0 \leq i \leq \frac{N}{5}; \\ 1, \text{ якщо } \frac{N}{5} \leq i \leq 2 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, \text{ якщо } 2 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 3 \cdot \frac{N}{5}; \\ 1, \text{ якщо } 3 \cdot \frac{N}{5} \leq i \leq 4 \cdot \frac{N}{5}; \\ 0, \text{ якщо } 4 \cdot \frac{N}{5} \leq i; \end{cases}$$

(2)



Пряме дискретне вейвлет-перетворення зводиться до обчислення вейвлет-коефіцієнтів $C(a,b)$:

$$C(a,b) = \int_R s(t) a^{-j/2} \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (3)$$

де, $a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0$; \mathbb{R} – область обмеження.

N – кількість елементів вектора даних і вейвлет-спектра;
 i – крок дискретизації;
 S_i – сигнали станів гальмівного кола.

Математична модель вейвлет-діагностування кола постійного струму перетворювача частоти

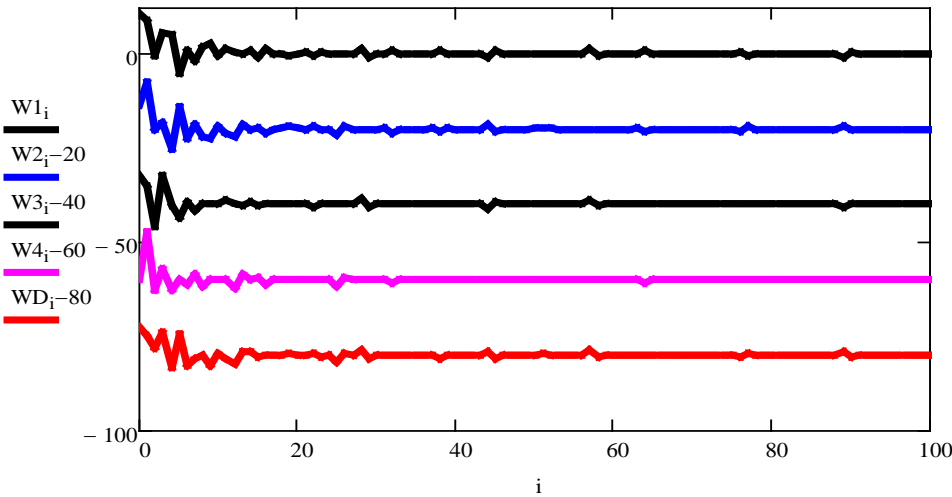
З підстановкою дискретних значень a та b , які задаються $Z=\{\dots,-1,0,1,\dots\}$ на деякій множині дискретні значення будуть рівні $a=2^j$, $b=k2^j$ де j та k – цілі числа.

$$C(j,k) = \int_0^{\infty} a_0^{-j/2} \cdot \psi(a_0^{-j}t - k) \cdot s(t) dt, \quad (4)$$

де, $\psi(t)$ – базисна функція.

Обчислення вейвлет-коефіцієнтів здійснюємо в ППП Mathcad за допомогою функції вектора прямого вейвлет-перетворення Добеші db4 wave(x):

$W1 = \text{wave}(S1)$, $W2 = \text{wave}(S2)$, $W3 = \text{wave}(S3)$,
 $W4 = \text{wave}(S4)$, $WD = \text{wave}(SD)$.



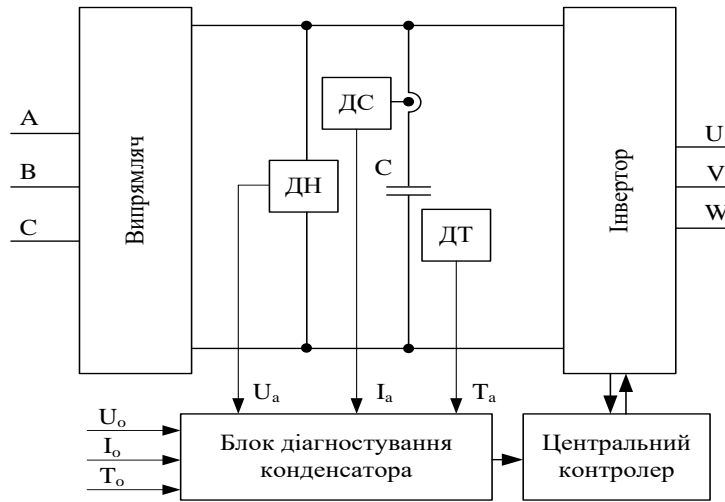
Зображення вейвлет-коефіцієнтів станів кола постійного струму перетворювача частоти

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \left[\left(W_{X_i} - \frac{W_{X_i}}{N} \right) \cdot \left(W_{Y_i} - \frac{W_{Y_i}}{N} \right) \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \left[\left(W_{X_i} - \frac{W_{X_i}}{N} \right)^2 \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \left(W_{Y_i} - \frac{W_{Y_i}}{N} \right)^2 \right]}}, \quad (5)$$

Таблиця 2 – Результати вейвлет діагностування кола постійного струму перетворювача частоти

Параметр	Приклад
Стан ПЧ що діагностується	0;1;0;1;0
Діагнози	Q1, r = 0,0125 Q2, r = 0,786 Q3, r = 0,297 Q4, r = 0,583

Математична модель діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти



Структурна схема системи діагностування конденсаторів перетворювачів частоти

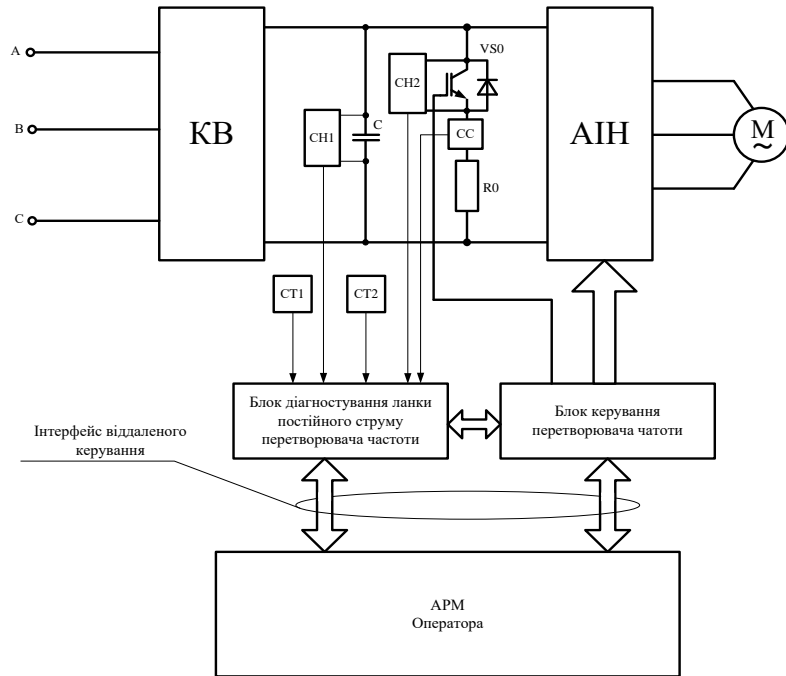
На схемі: ДС – датчик струму I_a , ДН – датчик напруги U_a , ДТ – датчик температури T_a . Номінальні експлуатаційні параметри U_o , I_o , T_o задаються в мікропроцесорному блокові діагностування відповідними константами.

$$k(t) = 2 \frac{T_o - T_a(t)}{10} \cdot m \left(1 - \frac{I_a(t)}{I_o} \right)^{\frac{T_o - T_a(t)}{10}} \cdot \left(\frac{U_a(t)}{U_o} \right)^n,$$

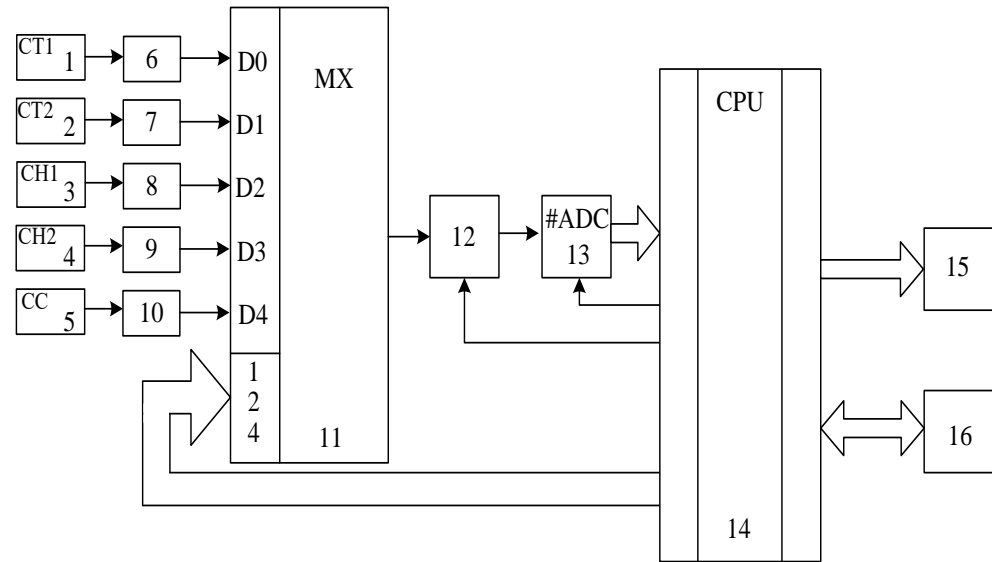
$$\left\{ \begin{array}{l} k(t) < k_{нз} \wedge k(t - \tau) < k_{нз} \wedge \frac{dk(t)}{dt} \leq 0 \rightarrow \text{несправність}; \\ k(t) \in [k_{нз}; k_{вз}] \wedge \frac{dk(t)}{dt} \leq 0 \rightarrow \text{на межі несправності}; \\ k(t) > k_{вз} \vee \left(k(t) \in [k_{нз}; k_{вз}] \wedge \frac{dk(t)}{dt} > 0 \right) \rightarrow \text{справний стан}, \end{array} \right. \quad (16)$$

де τ – час затримки для формування діагностичного висновку, U_a – робоча напруга конденсатора перетворювача частоти, U_o – номінальна напруга конденсатора, I_a – фактичний пульсуючий струм конденсатора, I_o – номінальний пульсуючий струм конденсатора для промислової частоти; T_o – максимально допустима температура експлуатації, T_a – фактична температура роботи конденсатора; верхнє $k_{вз}$ та нижнє $k_{нз}$ значення експлуатаційного коефіцієнта

Мікропроцесорна реалізація засобу для вейвлет-діагностування кола постійного струму перетворювача частоти



Структурна схема мікропроцесорної системи вейвлет-діагностування кола постійного струму ПЧ

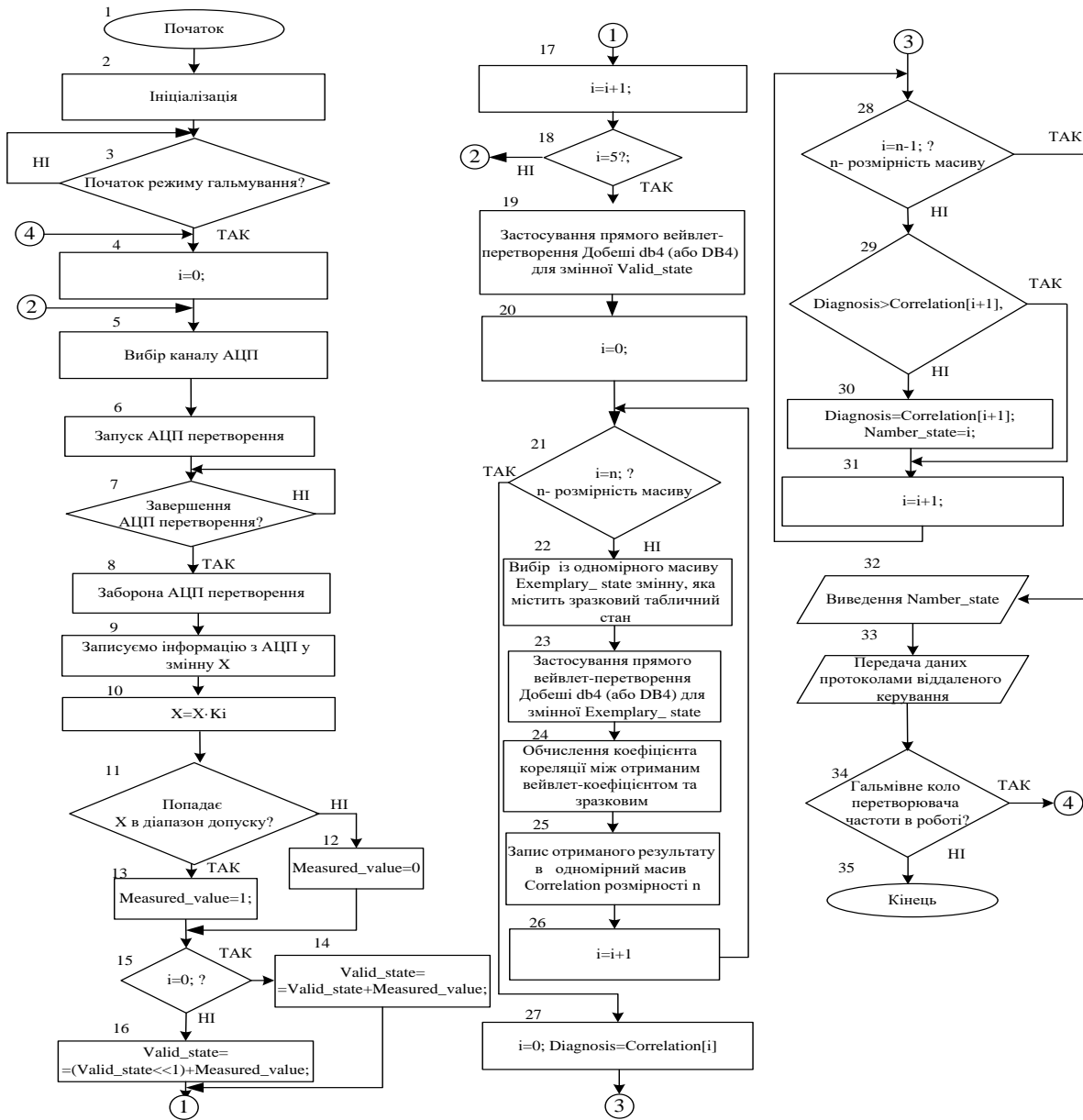


Структурна схема блока вейвлет-діагностування кола постійного струму ПЧ

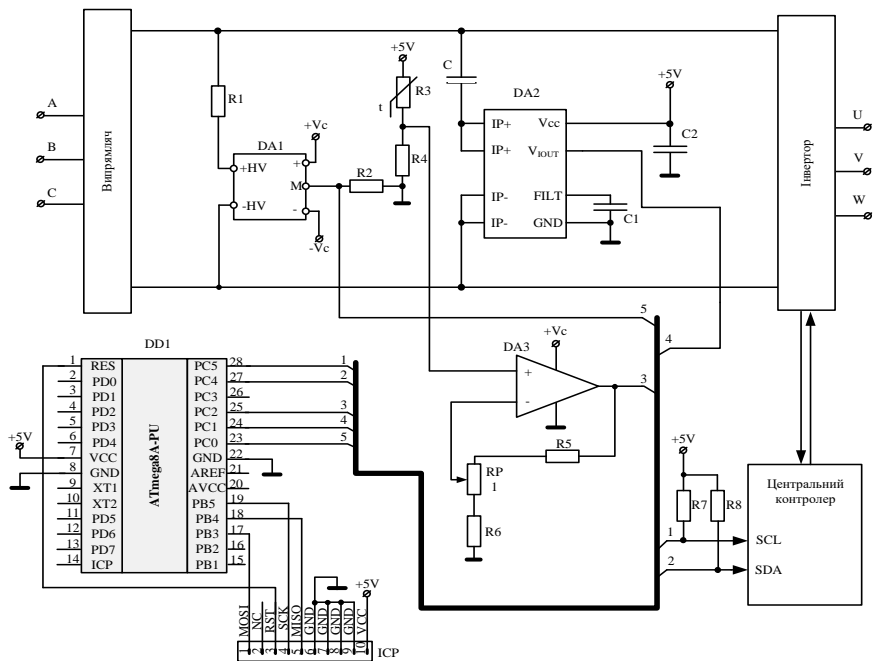
На схемі: СС – сенсор струму; CH1, CH2 – сенсори напруги; CT1, CT2 – сенсори температури, KB – керований випрямляч; АИН – автономний інвертор напруги.

На схемі: блоки 1-5 – сенсори; 6-10 – масштабуючі перетворювачі; 11 – мультиплексор; 12 – блок вибірки-зберігання; 13 – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 14 – мікроконтролер; 15 блок індикації ; 16 – інтерфейсний перетворювач

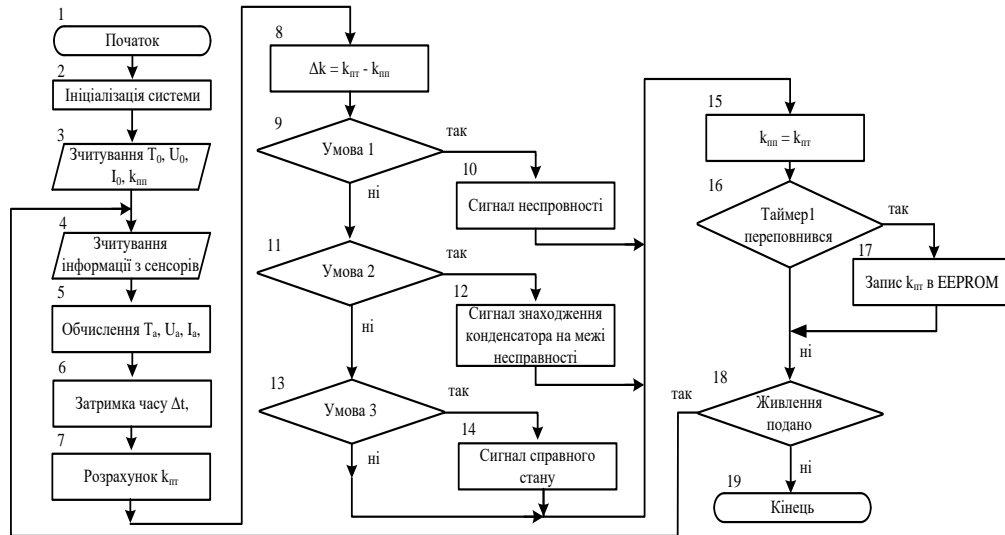
Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою вейвлет-діагностування кола постійного струму ПЧ



Мікропроцесорний пристрій діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти

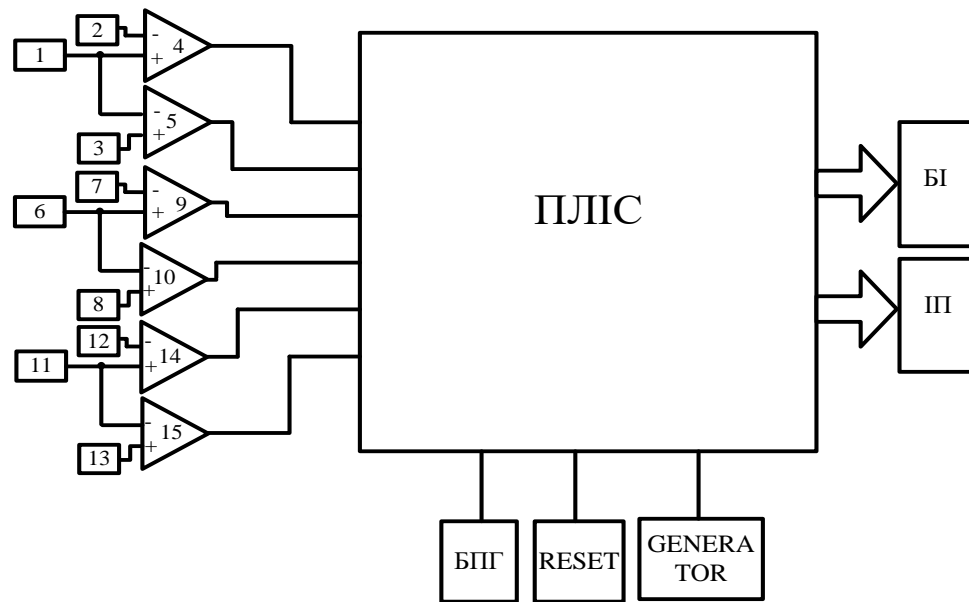


Структурна схема мікропроцесорного пристрою діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти



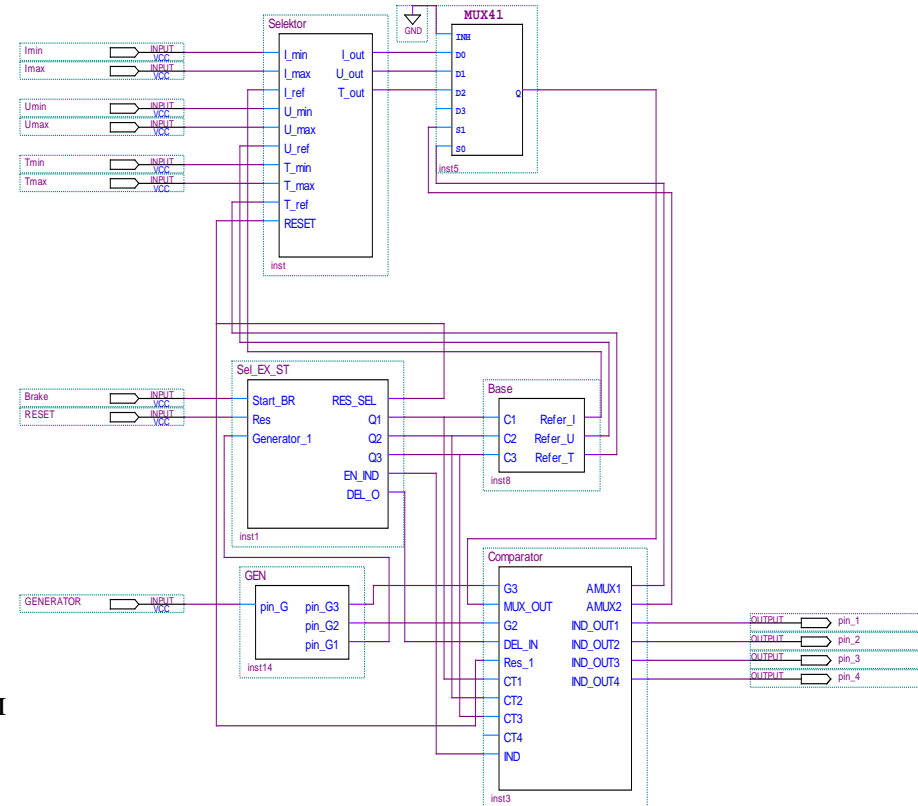
Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування конденсаторів ланки постійного струму перетворювачів частоти

Реалізація пристрою діагностування ланки постійного струму перетворювача частоти із застосуванням програмованих логічних інтегральних схем

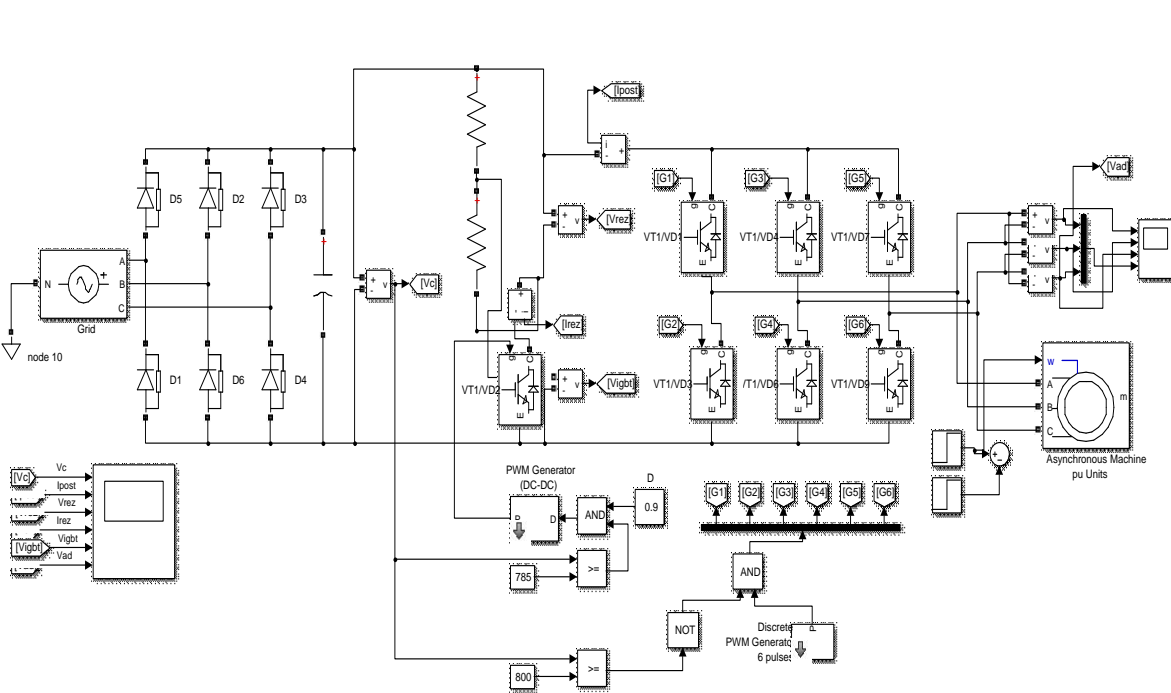


Структурна схема пристрою для діагностування ланки постійного струму перетворювача частоти із застосуванням ПЛІС

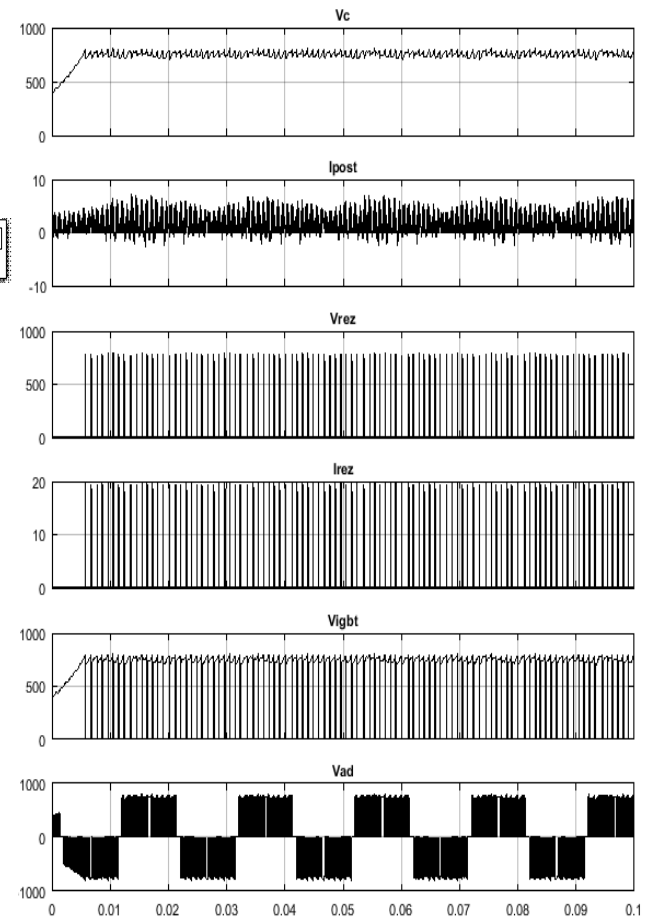
На схемі: блоки з 1 по 15 призначені для визначення належності вимірних сигналів гальмівного кола до діапазону допустимих значень та відповідно перетворення вхідних аналогових сигналів в цифрову інформацію, ПЛІС – програмована інтегральна логічна схема, БПГ – блок початку гальмування, RESET – блок скидання схеми; GENERATOR – генератор опорної частоти; БІ – блок індикації; ІІ – інтерфейсний перетворювач.



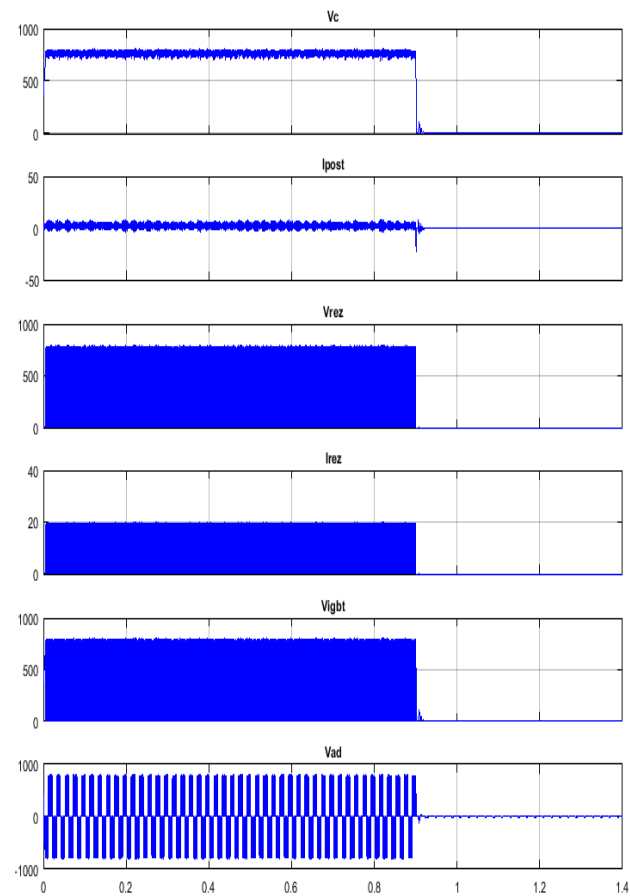
Структурна схема пристрою діагностування ланки постійного струму перетворювача частоти в середовищі Quartus II



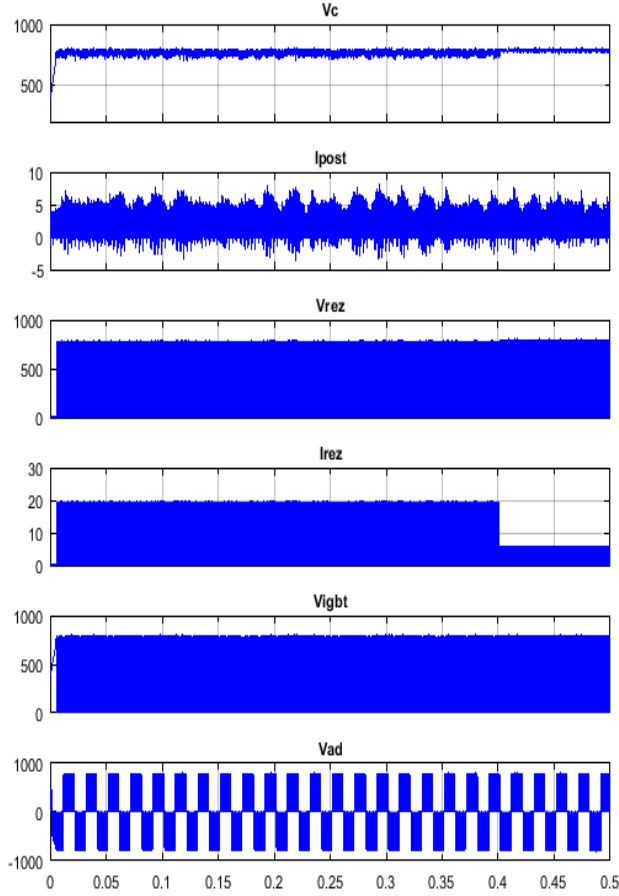
Структурна схема комп'ютерної моделі частотно-керованого асинхронного електропривода в ППП Matlab



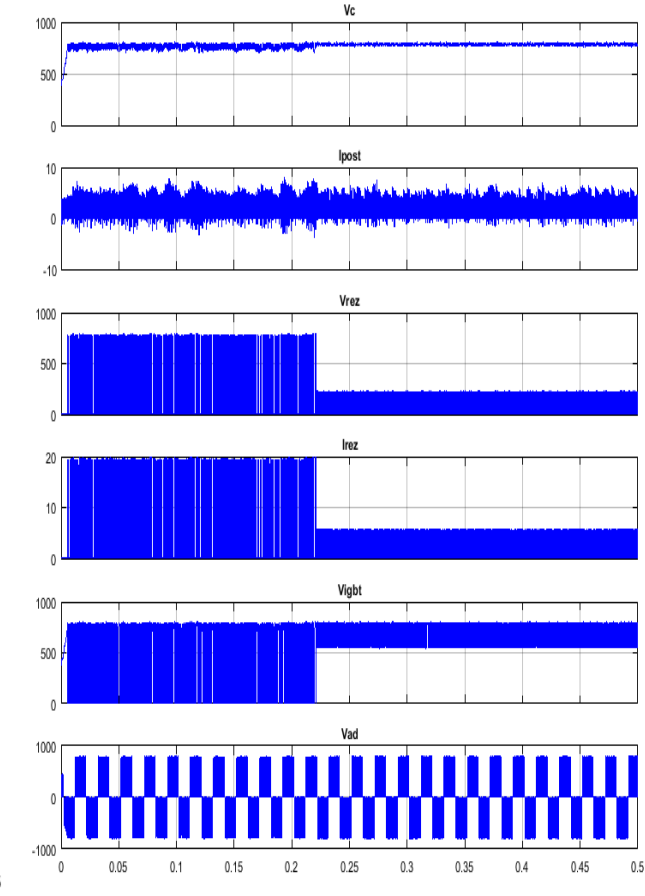
Результати моделювання роботи справного кола постійного струму



Результати моделювання аварійного режиму роботи при обриві гальмівного кола перетворювача частоти

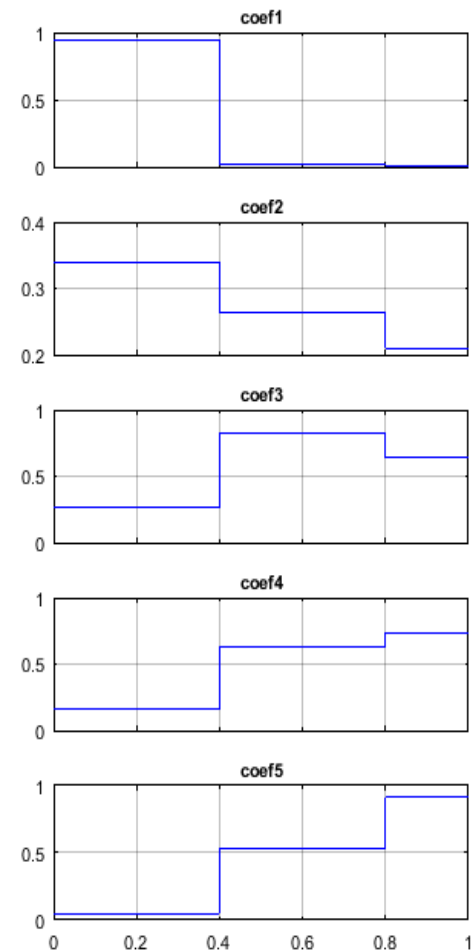
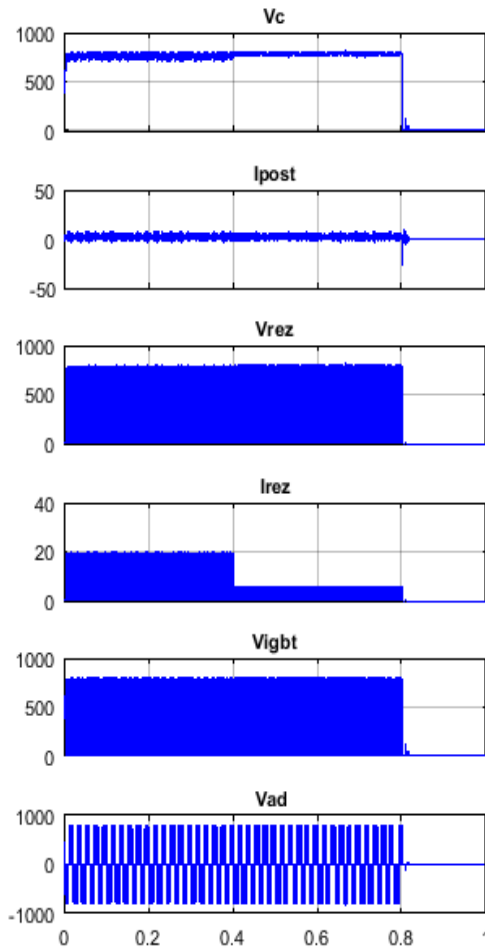
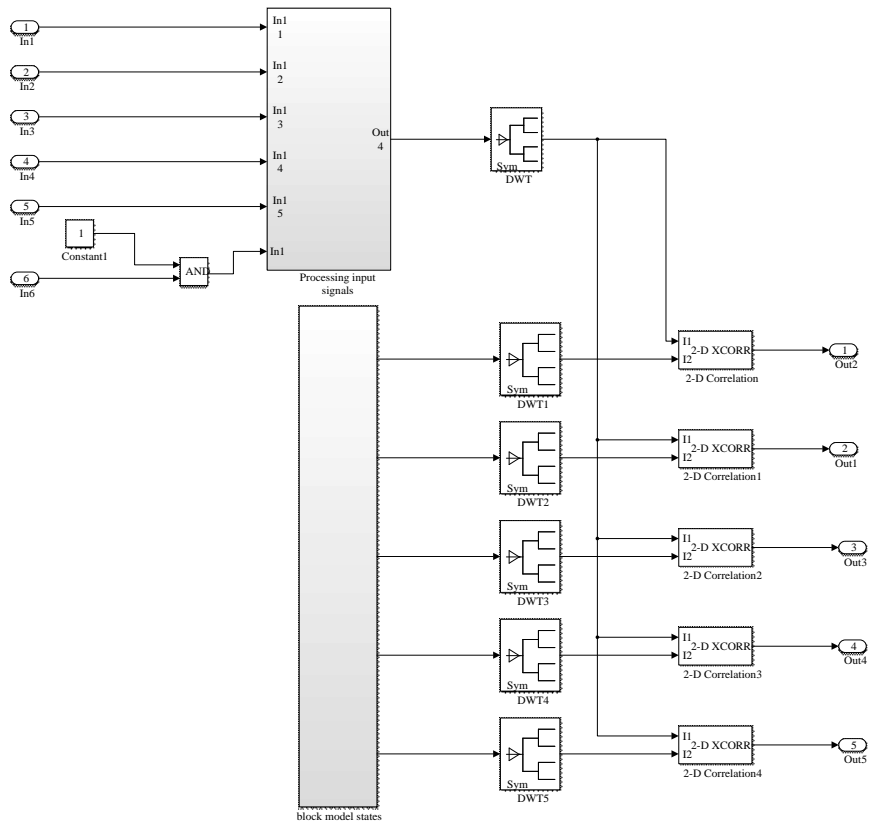


Результати моделювання аварійного режиму роботи при зростанні опору резистора гальмівного кола перетворювача частоти



Результати моделювання аварійного режиму роботи при зростанні опору транзистора гальмівного кола перетворювача частоти

Комп'ютерна модель вейвлет-діагностування кола постійного струму ПЧ



розгорнута структура блока вейвлет-діагностування в ППП Matlab Simulink

Результати моделювання роботи блока вейвлет-діагностування перетворювачів частоти

Удосконалено математичну модель діагностування ланки постійного струму перетворювачів частоти, яка, на відміну від існуючих, враховує динаміку зміни експлуатаційного коефіцієнта в часі та знак його похідної, що дозволяє уникнути прийняття системою хибних рішень, вчасно попереджати обслуговувальний персонал про критичний стан робочого конденсатора, необхідність виведення перетворювача частоти в ремонт та запобігати пошкодженням конденсатора, та адаптовано її для реалізації засобами програмованої логіки.

1. На основі математичних моделей вейвлет-діагностування ланки постійного струму перетворювача частоти розроблено алгоритми та функціональну схему мікропроцесорного засобу, який має розширені функціональні можливості та дозволяють здійснювати діагностування гальмівних кіл перетворювачів частоти, що в свою чергу дозволяє з високою достовірністю визначати технічний стан.

2. На основі математичної моделі діагностування ланки постійного струму перетворювача частоти розроблено алгоритм та функціональну схему пристрою із застосуванням ПЛІС, який має розширені функціональні можливості та дозволяє здійснювати діагностування ланки постійного струму перетворювача частоти, та з високою достовірністю визначати технічний стан електрообладнання. Також проведення моделювання роботи реалізованого пристрою

3. Розроблено комп'ютерні моделі діагностування ланки постійного струму перетворювача частоти та пристроїв для їх діагностування, які адекватно відображають запропоновані математичні моделі та їх технічні реалізації,

Дякую за увагу!