

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

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

_____ магістр

(освітній ступінь)

на тему: «Підвищення надійності роботи електроприводів виробничих
механізмів»

Виконав: студент 2 курсу, гр. ЕПА-18м
галузь знань 14 – Електрична інженерія
спеціальність 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма «Електромеханічні системи
автоматизації та електропривод»

_____ Ріваденейра Тапуї Марта Каріна

(прізвище та ініціали)

Керівник _____ к.т.н., доц. Бабій С. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 року

Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітній ступінь магістр
Галузь знань 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувача кафедри

д.т.н., проф.

В. М. Кутін

“___” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ріваденейра Тапуй Марта Каріна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення надійності роботи електроприводів виробничих механізмів

керівник роботи Бабій С. М., к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “___” _____ 20__ року №___

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: структура та математична модель електричного привода

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1 ЕЛЕКТРОПРИВОД ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ. 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА. 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ. ВИСНОВКИ.

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

1 Мета та задачі дослідження. 2 Характеристика об'єкта дослідження. 3 Основні дефекти електроприводів. 4 Розробка математичної моделі діагностування електропривода. 5 Математична модель та алгоритм діагностування електропривода. 6 Структурна схема пристрою діагностування електропривода. 7 Структурна схема мікропроцесорного пристрою діагностування електропривода. 8 Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування електропривода. 9 Структурна схема мікропроцесорного (на основі ПЛК) пристрою діагностування електропривода. 10 Програма роботи мікропроцесорного пристрою діагностування електропривода.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Бабій С. М., к.т.н., доц. каф. ЕМСАПТ		
Економічна частина	Мельничук Л. М., к.е.н., доц. каф. ЕМСАПТ		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Кобилянський О.В., д. пед. н., професор, зав. каф. БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
9	Захист МКР		

Студент

_____ (підпис)

Ріваденейра Гапуї Марта Каріна

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Бабій С. М.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ріваденейра Тапуй Марта Каріна «Підвищення надійності роботи електроприводів виробничих механізмів». Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця : ВНТУ. 2019.– 106 с. Бібліогр. : 42. Іл. : 27. Табл. : 11.

Магістерська кваліфікаційна робота орієнтована на підвищення надійності роботи електроприводів виробничих механізмів за рахунок проведення їх діагностування та своєчасного виявлення дефектів на ранніх стадіях їх розвитку.

В роботі удосконалено математичну модель діагностування електропривода, яка дозволяє здійснювати функціональне діагностування привода на основі аналізу його діагностичних параметрів відносно основного та граничного областей допустимих значень параметрів, а також враховує можливі короткотривалі збої в роботі об'єкта діагностування.

Синтезовано відповідну мікропроцесорну структуру та запропоновано алгоритм роботи пристрою діагностування.

Ключові слова: електропривод, надійність, діагностування.

АННОТАЦИЯ

Риваденейра Тапуй Марта Карина «Повышение надежности работы электроприводов производственных механизмов». Магистерская квалификационная работа. – Винница : ВНТУ. 2019. – 106 с. Библиогр. : 42. Ил. : 27. Табл. : 11.

Магистерская квалификационная работа ориентирована на повышение надежности работы электроприводов производственных механизмов за счет проведения их диагностики и своевременного выявления дефектов на ранних стадиях их развития.

В работе усовершенствована математическая модель диагностирования электропривода, которая позволяет осуществлять функциональное диагностирование привода на основе анализа его диагностических параметров относительно основного и предельного областей допустимых значений параметров, а также учитывает возможные краткосрочные сбои в работе объекта диагностирования.

Синтезирован соответствующую микропроцессорную структуру и предложен алгоритм работы устройства диагностирования.

Ключевые слова: электропривод, надежность, диагностирование.

ANNOTATION

Rivadeneira Tapui Martha Karina «Improving the reliability of electric drives of production mechanisms». Master's qualification work. – Vinnitsa : VNTU. 2019. – 106 p. Refs. : 42. Il. : 27. Table. : 11.

Master's qualification work is focused on improving the reliability of the electric drives of production mechanisms by carrying out their diagnosis and timely detection of defects in the early stages of their development.

The mathematical model of the actuator diagnostics is improved in the work, which allows to perform functional diagnostics of the actuator based on the analysis of its diagnostic parameters with respect to the basic and limiting ranges of allowable parameter values, and also takes into account possible short-term failures in the object of diagnosis.

The corresponding microprocessor structure is synthesized and the algorithm of operation of the diagnostic device is proposed.

Keywords: electric drive, reliability, diagnostics.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЕЛЕКТРОПРИВОД ЯК ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Загальна характеристика електроприводів.....	8
1.2 Діагностування електроприводів	11
1.2.1 Загальна характеристика технічного діагностування	11
1.2.2 Класифікація об’єктів діагностування електропривода	12
1.2.3 Основні дефекти електропривода	14
1.3 Засоби діагностування електропривода	15
1.3.1. Засоби діагностування, робота яких основана на використанні структурного підходу.....	16
1.3.2 Засоби діагностування, робота яких основана на використанні функціонального підходу	31
2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СТРУКТУРИ ПРИБОРУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	36
2.1 Математична модель діагностування електропривода	36
2.2 Розробка структури пристрою діагностування електропривода.....	43
2.3 Розробка мікропроцесорного засобу діагностування електропривода.....	48
2.3.1 Обґрунтування переходу на мікропроцесорну елементну базу	48
2.3.2 Розробка мікропроцесорного засобу діагностування електропривода на основі універсального контролера	49
2.3.2 Розробка мікропроцесорного засобу діагностування електропривода на основі спеціалізованого контролера	53
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	58
3.1 Розрахунок капітальних вкладень.....	58
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	60

	4
3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	60
3.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу	60
3.2.3 Розрахунок витрат на силову енергію	62
3.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання	62
3.2.5 Інші витрати.....	64
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	66
4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту.....	67
4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	67
4.1.2 Електробезпека.....	67
4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	70
4.2.1 Мікроклімат	71
4.2.2 Склад повітря робочої зони	72
4.2.3 Виробниче освітлення	73
4.2.4 Виробничий шум.....	75
4.2.5 Виробничі вібрації	76
4.2.6 Психофізіологічні фактори	77
4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електропривода в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій	79
4.3.1 Дослідження стійкості роботи електропривода в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	80
4.3.2 Дослідження стійкості роботи електропривода в умовах дії електромагнітного імпульсу	81
ВИСНОВКИ.....	86
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	87
Додаток А Технічне завдання.....	92
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	96

ВСТУП

Актуальність роботи. Регульовані та не регульовані електроприводи (ЕП) постійного та змінного струмів широко використовуються як в побуті, так і промисловості для приведення в дію широкого кола машин та механізмів, які часто забезпечують необхідні параметри різних технологічних процесів.

Під час експлуатації ЕП піддаються впливу виробничих факторів (кліматичних, механічних) під дією яких параметри силового привода та електронних елементів системи керування змінюються.

Якщо ці зміни є порівняно не значними, то їх вплив компенсує система керування. В іншому випадку виникають різного роду дефекти. Особливо небезпечними є приховані дефекти, оскільки їх важко виявити. Таким чином, якщо вчасно не виявити приховані дефекти, то з плином час вони викликають суттєве зниження якості функціонування ЕП та появу відмов.

Таким чином, підвищення експлуатаційної надійності ЕП є важливою і актуальною науковою задачею, яка потребує вирішення.

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

Робота виконувалася відповідно до наукового напрямку кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення експлуатаційної надійності електроприводів за рахунок удосконалення елементів та структур засобів діагностування їх технічного стану.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

1. Здійснити характеристику об'єкта діагностування та визначити перелік його основних дефектів.
2. Проаналізувати існуючі підходи і засоби діагностування електроприводів.
3. Розробити математичну модель діагностування електропривода.

4. Розробити структурну схему засобу діагностування електропривода.
5. Розробити алгоритм функціонування та структурну схему мікропроцесорного засобу діагностування електропривода.
6. Провести економічні розрахунки.
7. Розробити ряд заходів з охорони праці та описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

Об'єкт дослідження – процес перетворення енергії в електроприводі.

Предметом дослідження є математичні моделі та засоби діагностування електропривода.

Методи дослідження. У процесі роботи застосовувалися такі методи дослідження: методи теорії технічної діагностики – для побудови діагностичних моделей; метод структурно-логічного аналізу – для отримання структури засобу діагностування електропривода; аналітичні можливості комп'ютерної алгебри – для перевірки прийнятих рішень шляхом комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

Отримав подальшого розвитку метод діагностування електроприводів, який дозволяє здійснювати функціональне діагностування привода на основі аналізу його діагностичних параметрів відносно областей їх допустимих значень.

Практичне значення одержаних у роботі результатів.

Синтезовано структурну схему пристрою функціонального діагностування електропривода, який, на відміну від відомих, забезпечує коректну роботу при короткотривалих збоях в роботі об'єкта діагностування.

Розроблено алгоритми функціонування та структурні схеми мікропроцесорних засобів діагностування електропривода, що дає можливість розширити функціональні можливості засобів діагностування, збільшити їх гнучкість при переналагодженні, покращити енергетичні показники та підвищити надійність роботи.

Особистий внесок здобувача. Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на таких конференціях:

1. Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020) : Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, Вінниця, 01-15 травня 2020 р.

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій.

1 ЕЛЕКТРОПРИВОД ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальна характеристика електроприводів

Електропривод – електромеханічна система, що складається з одного або декількох електродвигунів, перетворювального, передавального та керуючого пристроїв, призначена для приведення в рух виконавчих органів робочої машини і керування цим рухом [1-4].

Узагальнена структура ЕП зображено на рисунку 1.1 [5].

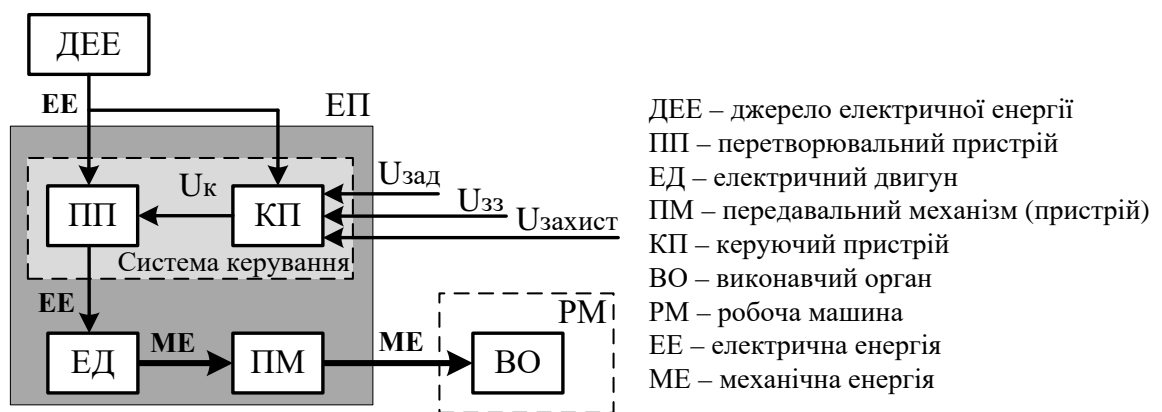


Рисунок 1.1 – Узагальнена структура ЕП

Перетворювальний пристрій (ПП) призначений для перетворення електричної енергії (ЕЕ) одних параметрів чи показників у електричну енергію (ЕЕ) інших параметрів чи показників [5].

Керування процесом перетворення енергії здійснює керуючий пристрій (КП), який формує сигнал керування U_k , значення якого визначається:

- сигналом задавача $U_{зад}$, який задає характер руху виконавчого органа (ВО) [5];

- сигналами зворотних зв'язків $U_{зз}$, які надають інформацію про хід технологічного процесу, характер руху виконавчого органа (ВО) і роботу окремих елементів ЕП [5];

- сигналами системи захисту, блокувань і сигналізації $U_{захист}$ [5].

Електричний двигун (ЕД) призначений для перетворення електричної енергії (ЕЕ) в механічну (МЕ) (в окремих режимах роботи – навпаки) [5].

Передавальний механізм (ПМ) призначений для передавання механічної енергії (МЕ) від електричного двигуна (ЕД) до виконавчого органа (ВО) робочої машини (РМ) і узгодження виду і швидкостей їх руху [5].

Таким чином ЕП виконує дві основні функції:

1) енергетична – перетворення електричної енергії в механічну, яка необхідна для реалізації різних технологічних процесів;

2) інтелектуальна – керування створеною механічною енергією з метою забезпечення необхідних параметрів технологічних процесів.

До переліку узагальнених вимог, які характерні для усіх ЕП відносять:

- ресурсоемність;
- енергетичну ефективність;
- точність;
- надійність (здатність ЕП виконувати свої функції протягом визначеного проміжку часу) тощо.

Під ресурсоемністю розуміють вартість матеріалів, закладених у конструкцію ЕП, трудомісткість при монтажі, налагодженні, експлуатації тощо.

Говорячи про енергетичну ефективність мають на увазі втрати енергії в приводі, і чим меншими вони є, тим більша кількість енергії із спожитої вхідної буде перетворена в корисну роботу.

Під точністю ЕП розуміють його здатність реалізувати заданий технологічний процес. Слід відмітити, що сучасні технологічні процеси є достатньо складними. Для їх коректного протікання, і, як наслідок, отримання високоякісного та конкурентоспроможного продукту на виході, необхідно з високою точністю підтримувати цілий ряд параметрів. Значну частин цих параметрів забезпечують саме регульовані електроприводи постійного та змінного струмів.

Під час експлуатації ЕП піддаються впливу виробничих факторів (кліматичних, механічних) під дією яких параметри силового привода та електронних елементів системи керування змінюються (рисунок 1.2).

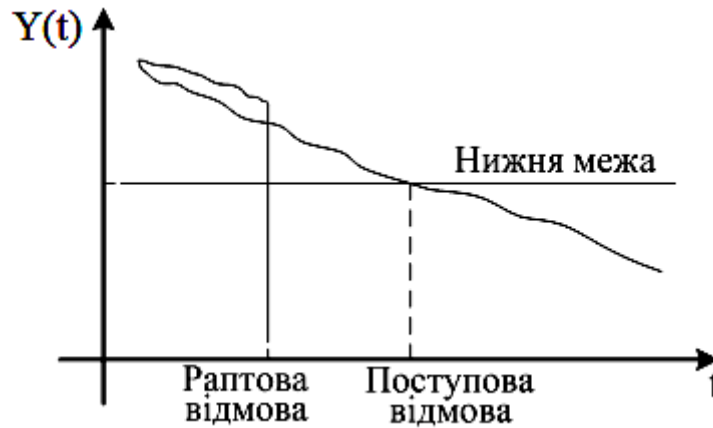


Рисунок 1.2 – Зміна параметрів привода в процесі експлуатації

Якщо ці зміни є порівняно не значними, то їх вплив компенсує система керування. В іншому випадку виникають різного роду дефекти. Особливо небезпечними є приховані дефекти, оскільки їх важко виявити. Таким чином, якщо вчасно не виявити приховані дефекти, то з плином час вони викликають суттєве зниження якості функціонування ЕП та появу відмов.

Якщо поверхнево проаналізувати приводні двигуни, то очевидно, що в більшості регульованих та не регульованих ЕП застосовують асинхронні електродвигуни. Це пов'язано з тим, що вони, у порівнянні з двигунами постійного струму, є більш надійними. Тим не менше вони ще достатньо часто виходять з ладу. Так, згідно джерел [6, 7] щорічно пошкоджується 20-25% від загальної кількості установлених асинхронних двигунів. В окремих галузях промисловості цей показник може досягати 50% [7].

Таким чином, узагальнено можна констатувати, що підвищення експлуатаційної надійності ЕП є важливою і актуальною науковою задачею, яка потребує вирішення.

1.2 Діагностування електроприводів

Одним із підходів, який дозволяє забезпечити надійну і безвідмовну роботу ЕП, є його вчасне технічне обслуговування.

Під поняттям вчасного технічного обслуговування слід розуміти проведення ремонтних робіт на ранніх етапах виникнення поступових відмов, не чекаючи поки ЕП стане непрацездатним. Це стає можливим, якщо проводити технічне діагностування ЕП. Таки чином здійснюють перехід від недосконалої системи планово-попереджувальних ремонтів до обслуговування за фактичним технічним станом.

1.2.1 Загальна характеристика технічного діагностування

Діагностування – це інформаційна процедура метою якої є відображення технічного стану об'єкта у вигляді висновку про суттєвість цього стану та його характер [8].

Технічний стан – це сукупність властивостей об'єкта або їх залежностей між собою, які можуть змінюватися під дією зовнішніх факторів і визначаються в певний момент часу за певних зовнішніх умов середовища певними значеннями діагностичних показників відповідно до норм [8].

Технічна діагностика передбачає не лише визначення технічного стану об'єкта, але і керування технічним станом об'єкта відповідно до завчасно визначеної програми чи алгоритму [8].

Задача визначення технічного стану об'єкта поділяється на такі складові:

- визначення технічного стану об'єкта в даний момент часу [8];
- визначення технічного стану об'єкта в майбутньому [8];
- визначення технічного стану об'єкта в минулому [8];
- визначення місця пошкодження [8].

Розрізняють такі види технічного діагностування:

1) робоче технічне діагностування – це такий вид діагностування при якому технічний стан об'єкта визначається при безпосередньому виконанні робочих функцій без тестування його спеціальними випробувальними діями [8];

2) тестове технічне діагностування – це такий вид діагностування при якому технічний стан об'єкта визначається тестуванням його спеціальними випробувальними діями без безпосереднього виконання робочих функцій [8].

3) експрес технічне діагностування – це такий вид діагностування при якому технічний стан об'єкта визначається за частиною діагностичних показників протягом обмеженого часу [8].

4) прогнозувальне технічне діагностування – це такий вид діагностування при якому визначається час протягом якого технічний стан об'єкта буде знаходитись в нормі за усіма діагностичними показниками із заданою імовірністю. При цьому імовірність безвідмовної роботи задається, а визначається середнє напрацювання до відмови як математичне сподівання напрацювання до першої відмови [8].

1.2.2 Класифікація об'єктів діагностування електропривода

Особливістю електропривода як об'єкта діагностування є тісний взаємозв'язок електричних, електромеханічних і механічних пристроїв і елементів, що відрізняються функціональним призначенням і принципом дії [9].

Електропривод як об'єкт діагностування може бути розділений на певні класи з спільними властивостями, які дозволяють вбирати найбільш ефективний метод дослідження об'єктів даного класу [9].

Таким чином ЕП може містити у своїй структурі елементи та блоки, які класифікують так:

1) неперервні – об'єкти, вхідні і вихідні сигнали яких мають неперервну множину значень в часі. Такі об'єкти описуються диференційними рівняннями.

До неперервних об'єктів діагностування ЕП можна віднести, наприклад, аналогові операційні підсилювачі і функціональні перетворювачі, електродвигуни постійного і змінного струму [9];

2) дискретні – об'єкти, вхідні і вихідні сигнали яких мають кінцеву множину значень, а час їх зміни відраховується дискретно. Такі об'єкти описуються різницеvими рівняннями. Прикладом дискретних об'єктів діагностування ЕП можуть бути цифрові перетворювачі і обчислювальні пристрої, логічні елементи, імпульсні сенсори [9];

3) гібридні – об'єкти, одна частина вхідних і вихідних сигналів яких мають неперервну множину значень в часі, а інша частина – скінченну множину в дискретні моменти часу. Такі об'єкти описуються сукупністю диференційних і різницеvих рівнянь. До гібридних об'єктів діагностування ЕП можна віднести аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі, вентильні перетворювачі змінного струму в постійний [9];

4) комбінаційні або об'єкти без пам'яті – об'єкти, значення вихідних сигналів яких однозначно визначаються лише значеннями їх вхідних сигналів незалежно від послідовності їх появи. Прикладами комбінаційних об'єктів є резисторне електричне коло (неперервний об'єкт) і діодний дешифратор двійкових сигналів (дискретний об'єкт) [9];

5) об'єктами з пам'яттю – об'єкти, значення вихідних сигналів яких залежать не лише від вхідних сигналів, але і від послідовності їх появи. Так, аналогова система керування електропривода із зворотними зв'язками представляє собою неперервний об'єкт з пам'яттю, а тиристор і двійковий лічильник – дискретні об'єкти з пам'яттю [9].

1.2.3 Основні дефекти електропривода

При експлуатації ЕП може виникати ряд дефектів як в силових колах, так і в колах керування.

Основні дефекти силових кіл ЕП:

- відсутність фази мережі напруги живлення ЕП [5];
- недопустима асиметрія напруги живлення ЕП [5];
- перевищення допустимого значення напруги живлення ЕП [5];
- неприпустимо низький рівень опору ізоляції силових кіл ЕП відносно землі [5];
- перевищення максимально допустимого струму в мережі живлення ЕП [5];
- розрив плавких вставок запобіжників в силових колах ЕП [5];
- пробій силового напівпровідникового елемента перетворювального пристрою [5];
- перевищення максимально допустимого струму в колах навантаження напівпровідникового перетворювача [5];
- перевищення максимально допустимої напруги на силовому напівпровідниковому елементі перетворювача [5];
- перевищення допустимої температури переходу силового напівпровідникового елемента (тиристора, транзистора) перетворювача [5];
- перевищення допустимої температури електродвигуна [5];
- перевищення часу стоянки двигуна під струмом [5];
- перевищення допустимої частоти обертання електродвигуна [5];
- невідповідність між заданим і дійсним значеннями частоти обертання електродвигуна [5].

Основні дефекти, які можуть виникати в системах керування ЕП [5]:

- відхилення від допустимої напруги живлення елементів керування [5];
- обрив вхідних кіл керування [5];

- дефект роз'ємних з'єднань між блоками керування [5];
- помилки при визначенні дійсного значення контрольованих змінних електропривода і ряд інших дефектів [5].

1.3 Засоби діагностування електропривода

Під поняттям засобу діагностування слід розуміти пристрій, який дозволяє в автоматичному режимі вимірювати ряд параметрів об'єкта діагностування, аналізувати їх та робити висновок про технічний стан об'єкта та характер його зміни з часом [10].

Різноманіття функцій, які повинні виконувати пристрої діагностування (вимірювання контрольних сигналів, аналіз їх допустимих рівнів, формування висновку про технічний стан об'єкта, видача інформації про результати діагностування тощо), в сукупності з широким класом спільно працюючих безперервних і дискретних об'єктів діагностування ЕП створюють труднощі при розробці і технічній реалізації засобів діагностування. Вказана проблема посилюється і тим, що конструктивні рішення, прийняті для схем керування електроприводами, як правило, мало враховують потреби їх діагностування, часто ускладнюючи доступ до найбільш інформаційних сигналів [9].

Згідно [11] виділяють два підходи, на основі яких здійснюють дослідження об'єктів, а отже і створюють пристрої діагностування:

- структурний – досліджується внутрішня структура об'єкта;
- функціональний – досліджується алгоритм функціонування об'єкта.

Виділяють чотири основних методи діагностування порушень в процесі експлуатації [12]:

1. Статистичний – базується на відомих імовірнісних співвідношеннях між несправністю (її симптомами) і спостережуваними змінами параметрів з використанням оцінки функцій методами байєсовського аналізу [12].

2. Детерміністичний метод – оснований на аналізі складної системи діагностованого об'єкта і виявлення тих точок і тих параметрів, за результатами

вимірювання яких можна перевірити наявність симптомів порушень нормальної роботи [12].

3. Розпізнавання послідовності симптомів – метод базується на порівнянні реальної послідовності симптомів (ознак) порушення роботи з еталонними, які зберігаються в базі даних [12].

4. Створення повних математичних моделей діагностованих об'єктів (процесів) – спостережуваний стан відносять до найбільш подібної математичної моделі [12].

1.3.1. Засоби діагностування, робота яких основана на використанні структурного підходу

На рисунку 1.3 зображена структурна схема пристрою для контролю системи керування електричного привода (СКЕП) [13].

На схемі: 1 – блок задавання керуючого сигналу; 2, 3 – ключі; 4 – підсилювач; 5₁-5₄ – подільники частоти; 6₁-6₄ – пропорційно-диференціюючі елементи; 7₁-7₄ – демодулятори; 8 – елемент АБО-НІ; 9 – елемент затримки; 10 – вузол задавання живлячої напруги; 11 – блок живлення; 12 – блок індикації; 13 – суматор; 14 – блок інтегрування; 15 – формувач імпульсів; 16 – пропорційно-диференціюючий елемент; 17, 18 – демодулятори; 19 – елемент І; 20 – регулятор швидкості; 21 – регулятор струму; 22 – сенсор струму; 23 – сенсор швидкості; 24-27 – суматори; 28-31 – інтегратор; 32-35 – формувачі імпульсів; 36-39 – демодулюючі фільтри; 40 – виконавчий двигун.

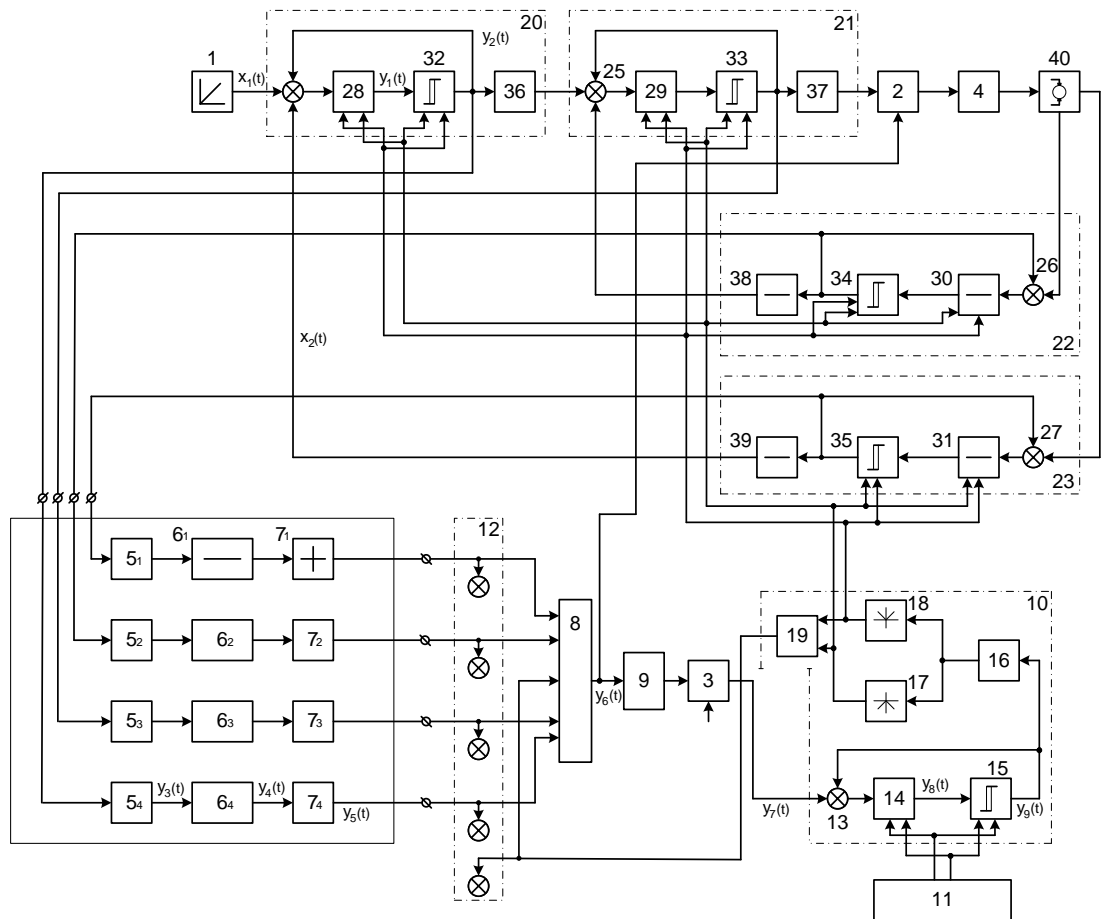


Рисунок 1.3 – Структурна схема пристрою для контролю СКЕП

Пристрій працює так. Подільник частоти 5, пропорційно-диференціюючий елемент 6 та демодулятор 7 утворюють канал діагностування. Робота всіх чотирьох каналів аналогічна. Якщо система керування знаходиться в працездатному стані, то на виході блока АБО-НІ 8 формується сигнал нульового рівня, який не впливає на її роботу. Якщо ж в системі виникає несправність, то на виході блока 8 формується сигнал логічної одиниці, який і буде свідчити про несправність. При цьому, за допомогою ключа 2, відбудеться відключення виконавчого двигуна 40 від системи керування, а на індикаторі 12 з'явиться відповідне повідомлення, яка сповіщатиме оператора про місце несправності. Даний пристрій дозволяє також контролювати технічний стан блока живлення елементів системи керування.

Головне обмеження даного пристрою полягає в тому, що не передбачено можливість прогнозування технічного стану, контроль працездатності задатчика інтенсивності, а також пристрій не дає достовірну інформацію про технічний стан системи керування при виході з ладу деяких елементів, працездатність яких не може бути виявлена засобами самого пристрою діагностування. Наприклад, при виході з ладу елемента I 19 його вихідний сигнал стає рівним нулю, працездатність системи керування в цьому випадку фактично не контролюється.

Одним з найбільш поширених способів, який дозволяє визначати фактичний технічний стан обладнання та прогнозувати характер його зміни на деякий наступний інтервал часу є аналіз відхилення між вимірним та встановленим технічною документацією значеннями діагностичних параметрів. Об'єкт діагностування в даному випадку вважається справним якщо виконується умова [14]:

$$y_{0z}^i - \varphi(x_z^i) \leq \delta_z^i, \quad (1.1)$$

де y_{0z}^i – номінальне значення параметра i -го елемента типу z ;

$\varphi(x_z^i)$ – вимірне значення параметра i -го елемента типу z ;

δ_z^i – максимально допустиме відхилення параметра i -го елемента типу z , що контролюється.

Тобто, допустимими вважаються сигнали, параметри яких належать області допустимих значень. Якщо ж рівень хоча б одного з параметрів виходить за область його допустимих значень, то сигнал вважається таким який не відповідає нормі.

Зазначені положення реалізовано в пристрої для діагностування несправностей технічних об'єктів (рисунок 1.4) [15].

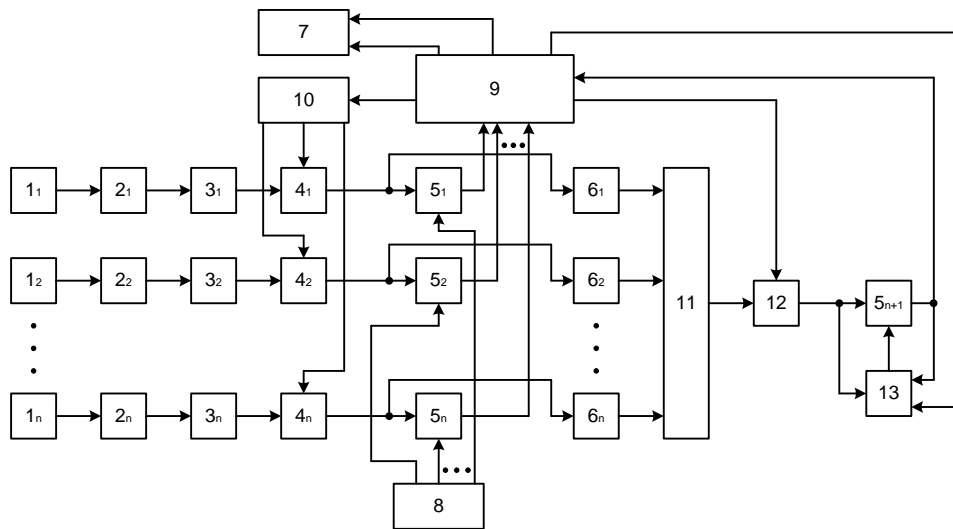


Рисунок 1.4 – Структурна схема пристрою для діагностування несправностей технічних об’єктів

На схемі: 1_1-1_n – сенсори; 2_1-2_n – блоки уніфікації; 3_1-3_n – аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП); 4_1-4_n – блоки віднімання; 5_1-5_n – блоки порівняння; 6_1-6_n – квадратори; 7 – блок індикації; 8 – блок задавання допустимого відхилення; 9 – блок управління; 10 – блок пам’яті векторів стану; 11 – блок сумування; 12 – блок елементів І; 13 – блок пам’яті суми.

Пристрій працює в двох режимах – режимі допускового контролю і режимі розпізнавання дефекту. Керування роботою пристрою здійснює блок управління 9. Виміряне значення діагностичного параметра, після його перетворення в цифровий код, поступає на вхід блока віднімання 4, який формує сигнал розузгодження виміряного та номінального значень параметрів. Після цього сигнал розузгодження порівнюється в блоці 5 з допустимим значенням відхилення. На виході блока 5 формується сигнал логічного нуля, якщо дефектів не виявлено, в іншому випадку – сигнал логічної одиниці, що забезпечує автоматичний перехід пристрою в режим розпізнавання дефекту по критерію найближчого сусіда:

$$\min_{G_k \in G} \sum_{j=1}^n (Y_j - Y_j^k)^2, \quad (1.2)$$

де G – множина дефектів об'єкта;

n – кількість діагностичних параметрів об'єкта;

Y_j – виміряне значення j -того діагностичного параметра об'єкта;

Y_j^k – номінальне значення j -того параметра об'єкта при наявності в ньому дефекту $G_k \in G$;

k – кількість можливих дефектів об'єкта.

В кінцевому випадку в блоці 7 відбувається індикація номера найбільш ймовірного дефекту.

Головними обмеженнями є зменшення швидкодії пристрою діагностування пропорційно збільшенню бази можливих дефектів та наявності в кожному вимірювальному каналі АЦП значно збільшує затрати на його реалізацію.

В роботі [16] представлено інший пристрій для діагностування несправностей технічних об'єктів (рисунок 1.5) таких як СКЕП. Головною його особливістю є здійснення на початковому етапі роботи перевірки працездатності власних систем, лише після цього починається діагностування об'єкта, яке полягає в аналізі сигналів реакцій об'єкта діагностування на сукупність тестових впливів.

Обмеженням пристрою є необхідність мати значну базу ознак несправностей, а також не передбачено режим пропуску короткотривалих збоїв в роботі об'єкта діагностування.

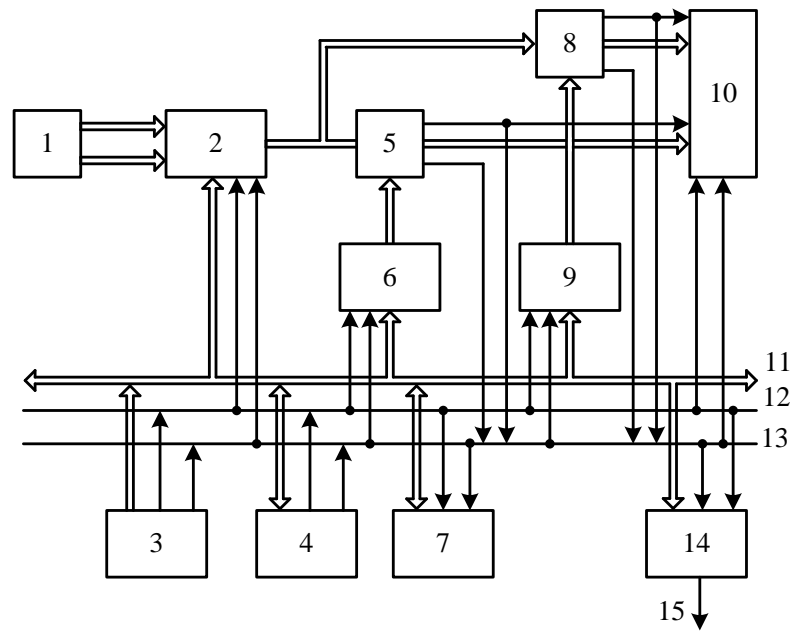


Рисунок 1.5 – Структурна схема пристрою для діагностування несправностей технічних об'єктів

На схемі: 1 – сенсори; 2 – багатоканальний комутатор; 3 – блок вводу інформації про стан об'єкта; 4 – блок обробки (мікро-ЕОМ); 5 – блок вводу діагностичної інформації; 6 – буферний регістр; 7 – блок пам'яті; 8 – блок оцінок; 9 – буферний регістр; 10 – блок індикації; 11 – інформаційна 8-ми бітова шина; 12 – 8-ми бітова шина адреси; 13 – 8-ми бітова шина керування; 14 – генератор тестових послідовностей; 15 – вихід на об'єкт діагностування.

Структура ЕП зазвичай представлена великою кількістю ЗЗ, які несуть інформацію як про фактичний стан ЕП, так і про рівень параметрів, які характеризують технологічний процес, що є важливим для формування оптимальних законів керування. В контурах ЗЗ можуть виникати різного роду відмови, для виявлення яких розроблено ряд пристроїв. Так, відомим є пристрій для діагностування відмов елементів контуру ЗЗ (рисунок 1.6) [17].

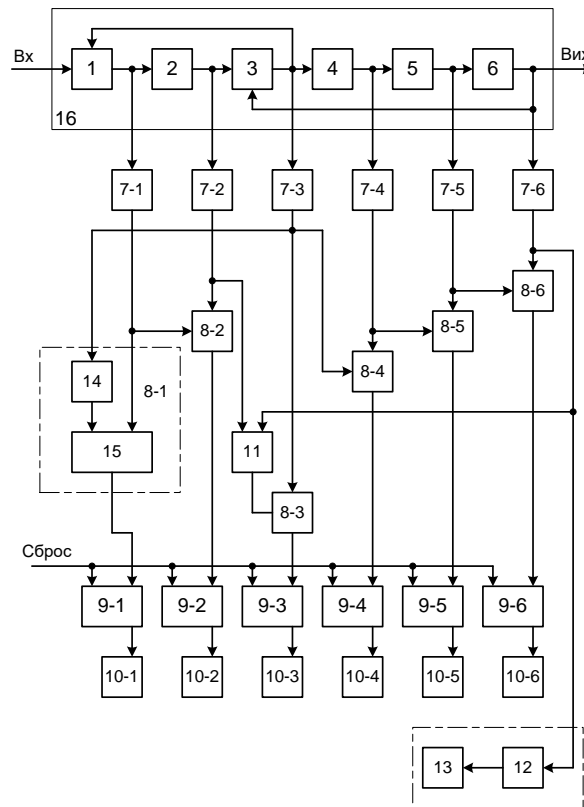


Рисунок 1.6 – Структурна схема пристрою для діагностування відмов елементів контуру 33

На схемі: 1-6 – функціональні елементи; 7 – сенсори допускового контролю; 8 – логічні ключі; 9 – RS-тригери; 10 – індикатори несправностей; 11 – елемент АБО; 12 – елемент НІ; 13 – індикатор справного стану; 14 – елемент НІ; 15 – логічний елемент І; 16 – об’єкт контролю.

Робота пристрою базується на порівнянні діагностичних параметрів з допустимими межами їх значень. Якщо параметр вийшов за межі допустимих значень, то на виході відповідного датчика допускового контролю 7 формується сигнал, який подається на відповідний RS-тригер 9, що і зумовлює ввімкнення відповідного індикатора відмов 10, індикатор працездатного стану 13 при цьому вимикається. За рахунок логічних ключів 8 пристрій забезпечує блокування фіксації наступних відмов взаємозв’язаних елементів, внаслідок їх реакції на дійсну відмову.

Пристрій має недостатню достовірність результатів діагностування технічних об'єктів через помилки, які виникають при виході з ладу одного чи декількох елементів пристрою, включаючи сенсори допускового контролю, а також не враховано можливість виникнення короткотривалих збоїв в роботі об'єкта діагностування.

Іншим подібним пристроєм який призначений для пошуку місця несправності серед елементів охоплених колом зворотного зв'язку, а також дослідження первинних відмов елементів на працездатність всього технічного об'єкту є пристрій для контролю [18]. Функціональна схема пристрою зображена на рисунку 1.7.

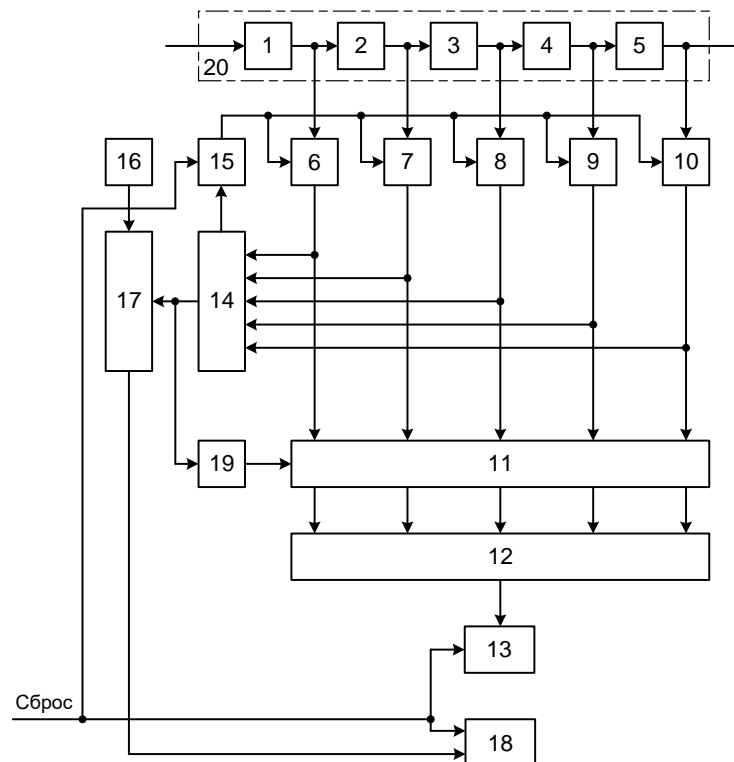


Рисунок 1.7 – Функціональна схема пристрою для контролю елементів охоплених колом зворотного зв'язку

На схемі: 1-5 – функціональні елементи; 6-10 – датчики допускового контролю; 11 – блок буферних регістрів; 12 – дешифратор; 13 – блок реєстрації

номерів елементів що відмовили; 14 – блок елементів АБО; 15 – задатчик часу контролю; 16 – задатчик поточного часу; 17 – ключі; 18 – блок реєстрування часу відмови; 19 – формувач сигналу зчитування; 20 – об’єкт контролю.

При відмові одного із функціональних елементів об’єкта 20 на виході відповідного датчика допускового контролю з’явиться сигнал який поступає на входи блоків буферних регістрів 11 та елементів АБО 14, який своїм вихідним сигналом запускає задатчик 15 часу контролю, а також через ключ 17 включає в роботу формувач 19 сигналу зчитування. При цьому відбувається запис номера що відмовив та фіксується час відмови. За час, встановлений задатчиком часу контролю 15, відбувається дослідження впливу функціонально елемента що відмовив на працездатність усієї системи. При цьому в блоці 13 реєстрації номерів елементів що відмовили зафіксовані номера всіх функціональних елементів, параметри яких вийшли з поля допуску за час встановлений за датчиком 15, а в блоці 18 зафіксовано час виходу з ладу кожного елемента.

Недоліком пристрою є його некоректна роботи в випадку, якщо кожний функціональний блок має свій час проходження сигналу.

Іншим пристроєм, який визначає технічний стан об’єкта на основі порівняння діагностичних параметрів з заданими значенням є пристрій для контролю параметрів [19]. Структурна схема пристрою представлена на рисунку 1.8.

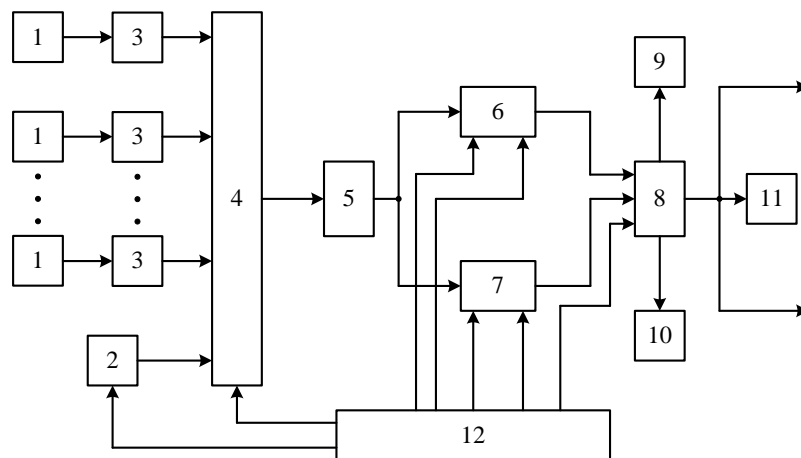


Рисунок 1.8 – Структурна схема пристрою для контролю параметрів

На схемі: 1 – сенсори; 2 – джерело еталонних параметрів; 3 – функціональні перетворювачі; 4 – комутатор; 5 – АЦП; 6 – реєстр пам'яті уставок; 7 – реєстр результатів контролю; 8 – блок опрацювання результатів контролю; 9 – блок реєстрації; 10 – блок індикації; 11 – блок звукової сигналізації; 12 – блок управління.

Пристрій працює так. Блок 12 здійснює керування роботою пристрою. Спочатку джерело еталонних параметрів 2 формує необхідне поле допуску в аналоговому вигляді, значення якого переписується через комутатор 4 та АЦП 5 в реєстр пам'яті уставок 6. В подальшому відбувається почергове вимірювання параметрів, результат якого записується в реєстр результатів 7. Після кожного вимірювання контрольованого параметра його значення порівнюється з полем допуску в блоці 8. Результати порівняння виводяться на блоки 9 – 11.

Обмеженням пристрою є низька достовірність контролю при значеннях результатів вимірювання, близьких до границь заданого поля допуску, як наслідок збільшується імовірність хибної та невиявленої відмови на границях поля допуску.

Пристроєм, який реалізує вищу достовірність контролю є пристрій для контролю параметрів [20], функціональна схема якого зображена на рисунку 1.9.

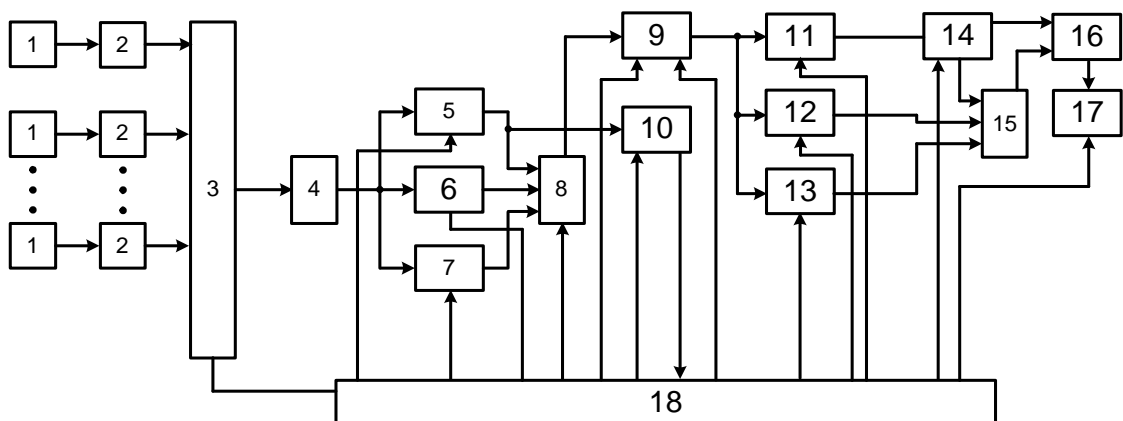


Рисунок 1.9 – Функціональна схема пристрою для контролю параметрів

На схемі: 1 – блок датчиків; 2 – блок функціональних перетворювачів; 3 – комутатор; 4 – аналогово-цифровий перетворювач; 5–7 – регістри результатів контролю; 8 – мультиплексор; 9 – блок порівняння з основним допуском; 10 – блок порівняння з додатковим допуском; 11–13 – регістри результатів порівняння з основним допуском; 14 – другий комутатор; 15 – блок мажоритарної логіки; 16 – елемент АБО; 17 – блок реєстрації; 18 – блок управління.

Як і в попередньому випадку усією роботою пристрою керує блок управління 18. Досягнення більш точних результатів контролю базується на порівнянні вимірної величини не лише з одним полем допуску, як це було реалізовано в попередньому пристрої, а з трьома: основним, першим та другим додатковим полем допуску, що підвищує достовірність результатів контролю.

Недоліком даного пристрою є неврахування впливу перехідних процесів які виникають при комутаціях комутатора 3 на результати вимірювань, а також невисока швидкодія.

Відомим є пристрій для пошуку несправностей [21], який забезпечує високу глибину контролю розімкнених систем керування. Структурна схема даного пристрою зображена на рисунку 1.10.

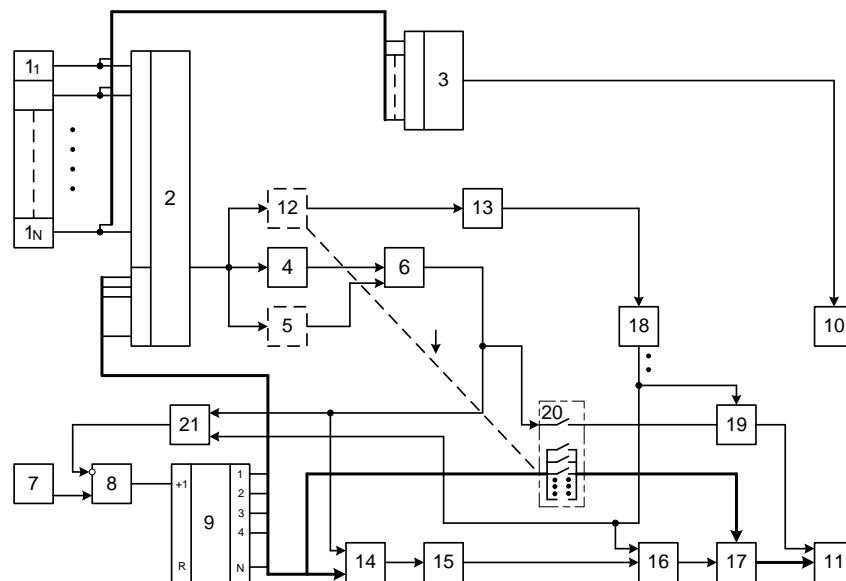


Рисунок 1.10 – Структурна схема пристрою для пошуку несправностей

На схемі: 1_1-1_n – сенсори несправностей; 2 – мультиплексор; 3 – суматор; 4 – формувач імпульсу; 5 – ключ; 6 – елемент АБО; 7 – генератор імпульсів; 8 – елемент ЗАБОРОНА; 9 – лічильник; 10, 11 – блоки індикації; 12 – ключ; 13 – інвертор; 14 – група елементів І; 15 – регістр; 16 – група елементів І; 17 – елемент АБО; 18 – формувач імпульсу; 19 – елемент АБО; 20 – група ключів; 21 – елемент АБО.

При замкнених ключах 20, 5 і розімкнутому 12 пристрій працює в режимі фіксації несправності. Несправний стан фіксується датчиками 1_1-1_n . Лічильник 9 в сукупності з мультиплексором 2 забезпечують почергове опитування датчиків несправностей 1_1-1_n . В момент виникнення несправності блокується надходження імпульсів від генератора 7 до лічильника 9 та вмикається блок індикації 11 і на його екрані формується код, який відповідає номеру вимірювального каналу, в колі якого зафіксовано несправність. Час індикації залежить від обраного режиму роботи. Суматор 3 підсумовує загальну кількість несправностей.

При протилежному положенні згаданих ключів пристрій працює в режимі локалізації несправності. Опитування датчиків несправностей 1_1-1_n ведеться в напрямку до ядра несправності.

Головним обмеженням пристрою є обмежена сфера використання (лише в розімкнених системах).

Розглянуті пристрої забезпечують, в більшості випадків, безперервний моніторинг стану об'єкта діагностування в процесі його експлуатації. Однак нерідко виникає необхідність також і в проведенні стендових випробувань, наприклад, на етапі виробництва систем ЕП. Для цього призначені пристрої тестового діагностування, робота яких базується на аналізі реакції об'єкта діагностування на визначену послідовність вхідних тестових сигналів. Хоча не слід обмежувати у використанні такі пристрої, оскільки тестові сигнали можуть подаватися також і в процесі експлуатації ЕП.

Так, відомим є пристрій для діагностики систем автоматичного керування [22], робота якого базується на використанні даного підходу (рисунок 1.11).

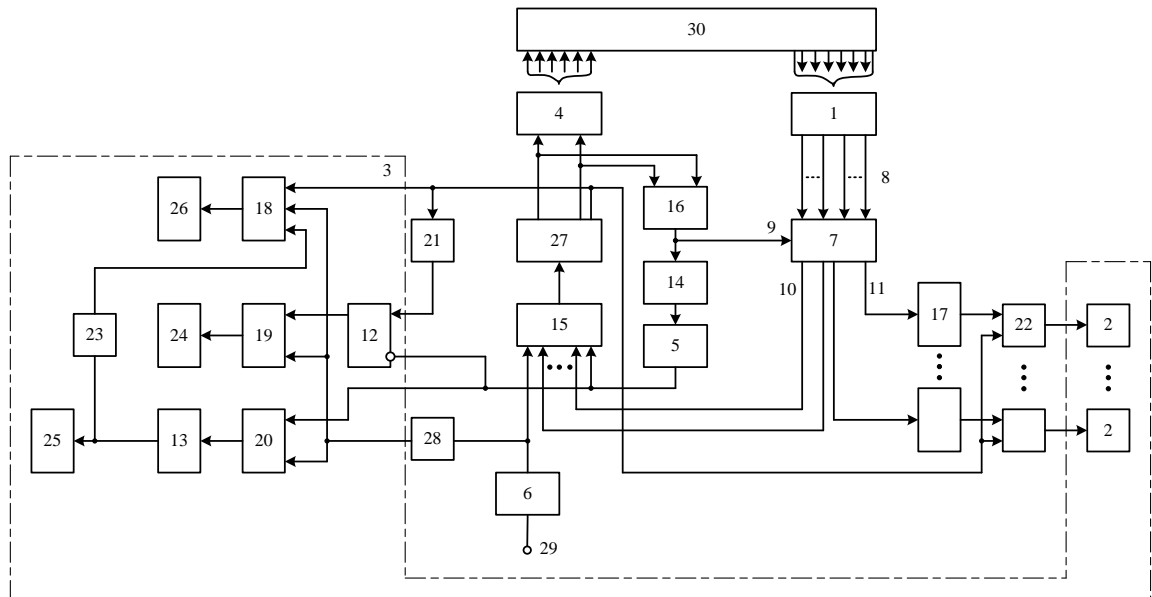


Рисунок 1.11 – Структурна схема пристрою для діагностики систем автоматичного керування

На схемі: 1 – перетворювач коду; 2 – індикатори; 3 – блок індикації; 4 – блок формування тестів; 5 – реле часу; 6 – ключ; 7 – управляючий дешифратор; 8 – інформаційні входи управляючого дешифратора; 9 – управляючий вхід; 10, 11 – управляючі виходи; 12 – елемент ЗАБОРОНА; 13 – елемент пам'яті; 14 – формувач імпульса; 15, 16 – елементи АБО; 17 – елементи пам'яті по числу каналів контролю; 18-20 – елементи І; 21 – елемент НІ; 22 – елементи І по числу каналів контролю; 23 – елемент НІ; 24 – індикатор «Контроль йде»; 25 – індикатор «Відмова»; 26 – індикатор «Працездатна»; 27 – розподільник; 28 – елемент пам'яті; 29 – клемма «Контроль»; 30 – контрольована система автоматичного керування.

Робота пристрою починається в момент надходження сигналу управління на клему 29, одразу після цього вмикається індикатор «Контроль», який сигналізує про початок контролю системи 30. Цей же сигнал, через елемент АБО

15 запускає розподільник 27, який видає сигнал на блок формування тестів 4 з виходу якого тестові сигнали надходять на вхід об'єкта діагностування 30. Сигнали реакції системи 30 порівнюються з закладеними в дешифратор 7 комбінаціями, якщо відхилень не виявлено то формується сигнал «Справно», в іншому випадку, по закінченню повного циклу перевірок, формується сигнал «Відмова». Слід відмітити, що при виявленні відмови на будь-якому циклі перевірки система переходить на наступний цикл без додаткової зовнішньої дії.

Обмеженням пристрою є низька достовірність результатів діагностування.

Пристрій для діагностики систем автоматичного керування [23] дозволяє підвищити достовірність результатів діагностування. Функціональна схема пристрою представлена на рисунку 1.12.

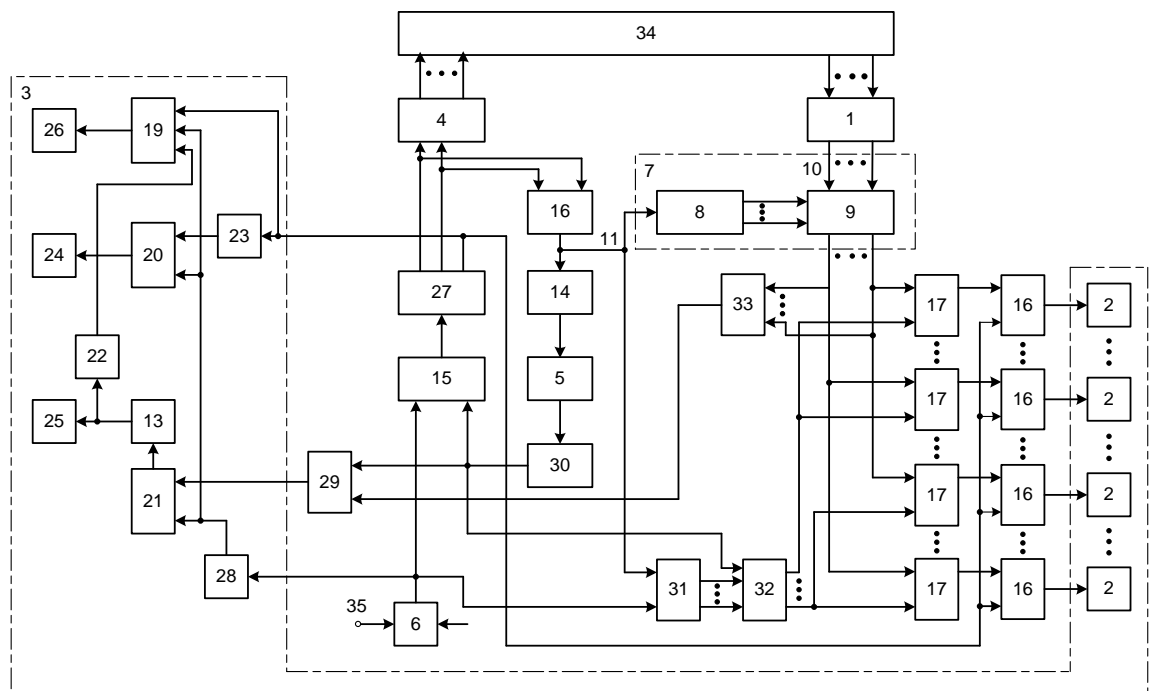


Рисунок 1.12 – Функціональна схема пристрою для діагностики систем автоматичного керування

На схемі: 1 – перетворювач коду; 2 – група індикаторів; 3 – блок індикації; 4 – формувач тестів; 5 – реле часу; 6 – ключ; 7 – управляючий

дешифратор; 8 – блок задавання еталонних значень; 9 – схема співпаданя; 10 – інформаційні входи; 11 – управляючий вихід і виходи 12; 13 – другий елемент пам'яті; 14 – перший формувач імпульсу; 15 – перший елемент АБО; 16 – другий елемент АБО; 17 – група елементів пам'яті; 18 – група елементів I; перший 19, другий 20 і третій 21 елементи I; перший 22 і другий 23 елементи NI; 24 – індикатор контролю; 25 – індикатор відмови; 26 – індикатор працездатності; 27 – розподільник; 28 – перший елемент пам'яті; 29 – елемент I; 30 – другий формувач імпульсу; 31 – двійковий лічильник; 32 – демультіплексор; 33 – третій елемент АБО; 34 – контрольована система; 35 – вхід пристрою.

На вхід об'єкта діагностування 34, по відповідному сигналу з виходу розподільника 27, подається певна тестова комбінація реакція об'єкту на яку формується на виходах 10. Отримана комбінація порівнюється в блоці порівняння 9 з еталонною, яку формує за датчик еталонних значень 8. В результаті порівняння на виходах 12 отримаємо або наявність всіх логічних нулів, що свідчить про відсутність несправностей, або певних комбінацій логічних нулів та одиниць, причому наявність логічної одиниці свідчить про несправність певного елемента, діагностування якого відбувається по цьому каналу. Після проведення всіх циклів перевірок відбувається індикація стану контрольованого об'єкту.

До недоліків слід віднести той випадок в роботі пристрою коли внаслідок несправності об'єкта діагностування затримка відпрацювання тесту все-таки більша за час спрацювання реле 5, тоді інформація на виході об'єкту не співпадає з еталонною і в елемент пам'яті запишеться повідомлення про відмову, що знижує якість діагностування.

1.3.2 Засоби діагностування, робота яких основана на використанні функціонального підходу

Засоби, які реалізують функціональний підхід, дозволяють реалізувати процес діагностування з меншими апаратними затратами, оскільки використовується значно менша кількість діагностичних параметрів ніж при структурному підході.

Одним із пристроїв, який реалізує даний підхід є пристрій для контролю працездатності динамічних об'єктів (рисунок 1.13) [24].

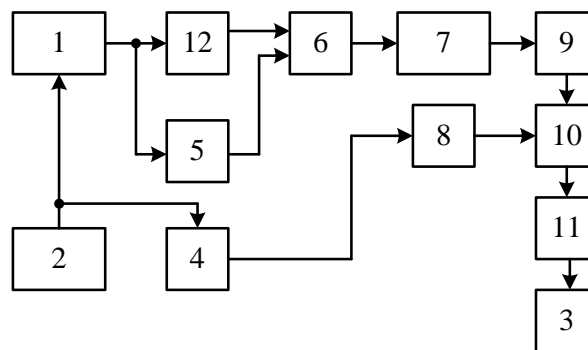


Рисунок 1.13 – Структурна схема пристрою для контролю працездатності динамічних об'єктів

На схемі: 1 – генератор стимулюючих ступінчастих впливів; 2 – пусковий ключ; 3 – індикатор; 4 – елемент затримки; 5 – масштабуючий елемент; 6 – диференціюючий підсилювач; 7 – блок визначення абсолютної величини напруги; 8 – ключовий елемент; 9 – інтегратор; 10 – пороговий елемент; 11 – тригер; 12 – об'єкт контролю.

Пристрій працює наступним чином. На виході блока 2 формується сигнал початку контролю відповідно до якого генератор 1 формує ступінчастий сигнал, що подається на об'єкт 12 та елемент 5, який являє собою модель об'єкта 12. На виході елемента 5 миттєво встановлюється сигнал рівний номінальному значенню вихідного сигналу об'єкта 12 при його справній роботі. На виході об'єкта 12 сигнал буде коливатись і стабілізується лише через певний час, який

визначається його динамічними властивостями. Технічний стан об'єкта 12 визначатиметься як результат аналізу виділеного сигналу відхилення часової характеристики об'єкта 12.

Обмеження даного пристрою – не передбачено можливість виявляти короткотривалі збої в роботі об'єкта контролю.

Ще одним пристроєм, робота якого базується на аналізі похибок керування є пристрій для функціонального контролю систем керування [25]. На рисунку 1.14 представлена структурна схема самого пристрою. Схема підключення пристрою є типовою і являє собою поєднання регулятора з його задаючим сигналом y_z , об'єкта керування з його вихідним сигналом y_t та контуру ЗЗ.

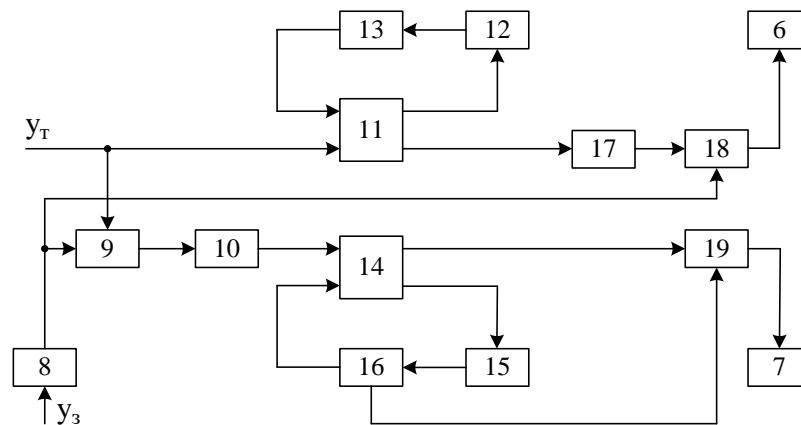


Рисунок 1.14 – Структурна схема пристрою для функціонального контролю систем керування

На схемі: 6, 7 – блоки індикації; 8 – інвертор; 9 – алгебраїчний суматор; 10 – підсилювач; 11 – інтегратор; 12 – блок затримки; 13 – інвертор; 14 – інтегратор; 15 – блок затримки; 16 – інвертор; 17 – подільник; 18, 19 – блоки порівняння.

В пристрої передбачено два контури діагностування, робота яких спрямована на формування сигналу статичної та динамічної похибки управління

на інтервалі часу Δt , зазначені результати відображаються на першому 6 та другому 7 індикаторах відповідно.

Обмеженнями даного пристрою є неспроможність виявляти причини виникнення статичних і динамічних похибок, окрім того, не передбачено контурів для внесення керуючих впливів з метою зменшення похибок керування.

Розглянемо роботу системи контролю пристрою керування електромеханічним об'єктом (рисунок 1.15) [26].

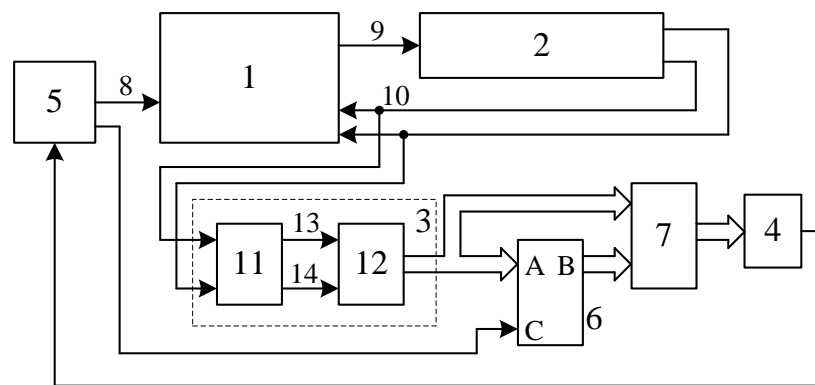


Рисунок 1.15 – Структурна схема системи контролю пристрою керування електромеханічним об'єктом

На схемі: 1 – пристрій керування електромеханічним об'єктом; 2 – модель електромеханічного об'єкта; 3 – блок визначення поточної позиції об'єкта; 4 – пороговий блок; 5 – задатчик тесту; 6 – блок пам'яті контрольних кодів; 7 – алгебраїчний суматор; 8 – інформаційний вихід задатчика тесту; 9 – вхід моделі електромеханічного об'єкта; 10 – група виходів моделі електромеханічного об'єкта; 11 – розподільник імпульсів; 12 – реверсивний лічильник; 13, 14 – сумуючий і декрементуючий входи реверсивного лічильника.

На початку роботи задатчик тесту 5 формує на своєму інформаційному виході 8 задаючий вплив у вигляді коду заданої позиції. При цьому на виході реверсивного лічильника 12 формується код поточної позиції, який після закінчення задаючого впливу, при появі на тактовому виході задатчика тесту 5 короткого імпульса, переписується в блок пам'яті 6 і на виході порогового блока

4 з'являється сигнал логічного нуля. Після цього на інформаційному виході 8 задатчика тесту 5 формується новий задаючий вплив під дією якого пристрій керування 1 повертається в вихідну позицію. Якщо розузгодження поточної та вихідної позицій перевищить допустимий рівень, то система керування вважається несправною.

Головне обмеження пристрою полягає в відсутності можливості контролювати стан системи керування безпосередньо в процесі експлуатації, коли можуть виникати короткотривалі збої в роботі, а також не передбачено прогнозування стану, що знижує ефективність використання пристрою.

Цих обмежень позбавлений пристрій для контролю системи керування [27], структурна схема якого представлена на рисунку 1.16.

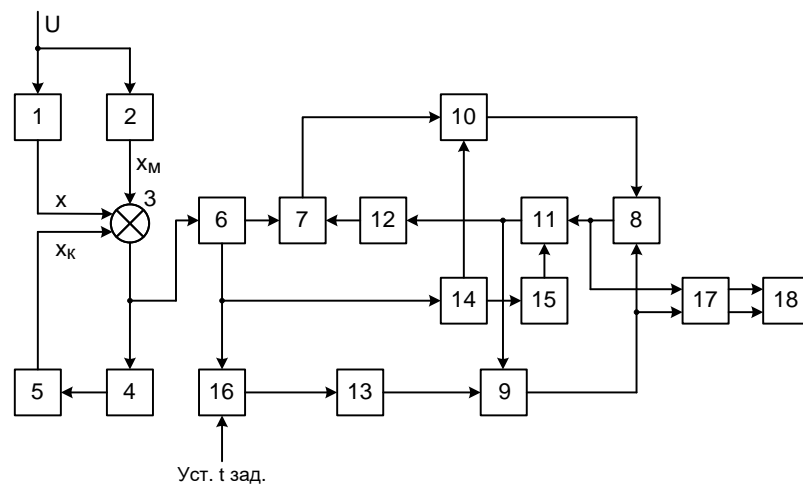


Рисунок 1.16 – Структурна схема пристрою для контролю системи керування

На схемі: 1 – контрольована система керування; 2 – еталонна модель; 3 – блок порівняння; 4 – обмежувач; 5 – інтегратор; 6 – імпульсний перетворювач; 7, 8 – суматори; 9, 10 – підсилювачі; 11 – накопичувач; 12 – інвертор; 13, 14 – сенсори коефіцієнта підсилення; 15 – елемент затримки; 16 – генератор імпульсів; 17 – логічний пороговий блок; 18 – блок реєстрації.

Вхідний сигнал U береться безпосередньо з контуру системи керування і є спільним як для самої системи керування 1 так і моделі 2, математичний опис якої відповідає математичному опису системи керування 1. Вихідні сигнали блоків 1 та 2 порівнюються в блоці 3. Отриманий сигнал $(x - x_m)$ потрапляє через обмежувач 4 на інтегратор 5. Проінтегрований вихідний сигнал x_k подається як сигнал від'ємного ЗЗ в блок 3, створюючи цим самим замкнутий контур компенсації розузгодження вихідних сигналів об'єкта 1 і моделі 2. Як наслідок отримуємо сигнал розузгодження $\Delta = x - x_m - x_k$, який є відносним значенням випадкового вектора стану. По цьому сигналу, пристрій що включає блоки 6 – 16, реалізує отримання поточної та передбаченої на деякий заданий інтервал часу оцінок.

Обмеження пристрою – відсутність оперативного керування станом контрольованої системи керування, що знижує ефективність і область його застосування.

2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СТРУКТУРИ ПРИБОРУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

2.1 Математична модель діагностування електропривода

Часто ЕП працюють у важких виробничих умовах, коли вони постійно або тимчасово піддаються впливу виробничих факторів (кліматичних, механічних) під дією яких параметри силового привода та електронних елементів системи керування змінюються:

До числа найбільш значимих виробничих факторів відносять:

1) температуру – коливання температури є однією з причин, які прискорюють процеси старіння [28];

2) вологість – підвищення вологості повітря призводить до прискорення корозійних процесів, зниження опору ізоляції [28];

3) механічну вібрацію – призводить до зміни початкового налаштування регульованих елементів, передчасного зношування радіоелектронних елементів і появи їх руйнацій, дефектів роз'єднань між блоками ЕП тощо [28].

Сучасний регульований ЕП є конструктивно складним, а тому немає змісту намагатись діагностувати кожен окрему елементарну складову, яка входить в його структуру. Логічно представити його структуру у вигляді функціональної моделі, яка являє собою сукупність взаємозв'язаних функціональних елементів, кожен з яких може як мінімум перебувати в двох різних технічних станах (наприклад, справному і несправному, працездатному і непрацездатному тощо) і реагувати в справному стані на дії з боку інших елементів.

Функціональна модель об'єкта діагностування будується при таких припущеннях:

1) кожен функціональний елемент моделі може мати кінцеву множину вхідних сигналів і лише один вихідний сигнал [9];

2) для кожного функціонального елемента моделі відомі функціональні залежності між вхідними і вихідними сигналами, а також їх допустимі значення [9];

3) зовнішні вхідні сигнали функціонального елемента завжди приймають лише допустимі значення [9];

4) лінії зв'язку між функціональними елементами моделі абсолютно надійні і повинні відповідати наведеному взаємозв'язку елементів принципової електричної або функціональної схеми об'єкта діагностування [9];

5) якщо вихідний сигнал k -го функціонального елемента моделі є вхідним для j -го елемента, то допустимі значення цих сигналів співпадають [9];

б) при виході за межі допустимих значень хоча б одного з вхідних сигналів на виході функціонального елемента з'являється недопустимий сигнал [9];

7) функціональний елемент моделі вважається дефектним, якщо при допустимих вхідних сигналах на виході елемента з'являється недопустимий сигнал [9].

Допустимими вважаються сигнали, всі параметри яких належать області їх допустимих значень. Якщо ж значення хоча б одного з вказаних параметрів виходить за область його допустимих значень, то сигнали вважаються недопустимими [9].

Узагальнена функціональна модель такого ЕП зображена на рисунку 2.1.

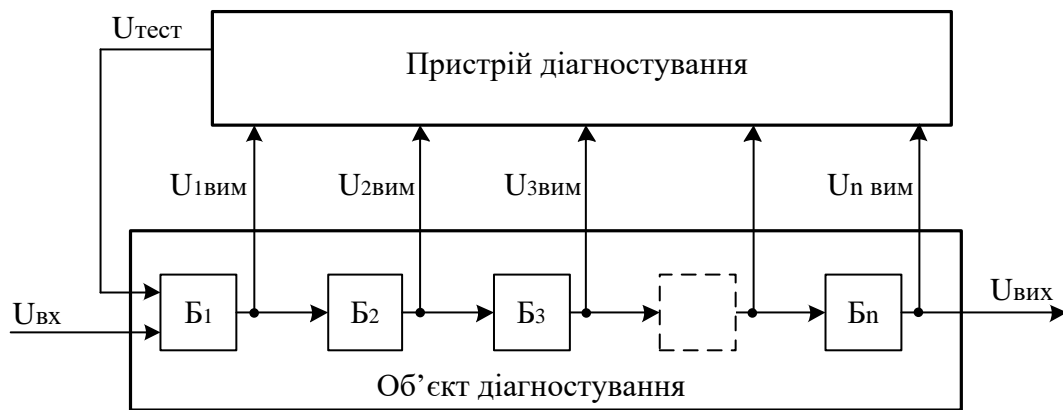


Рисунок 2.1 – Функціональна модель ЕП

Виміряні значення сигналів будуть досліджуватись в пристрої діагностування на предмет виявлення їх відхилень від допустимих значень, заданих в вигляді основного (ОПД) та граничного (ГПД) полів допуску.

Робота пристрою з параметрами, які знаходяться за межами ОПД є недоцільною, виходячи з вимог функціональної придатності, безпечної експлуатації та ремонтно-відновлювальних робіт [28].

Робота пристрою з параметрами, які знаходяться за межами ГПД є неприпустимою, оскільки подальша експлуатація об'єкта може призвести до створення аварійних ситуацій [28].

Для виявлення збоїв в роботі обладнання, які полягають в короткочасних виходах діагностичних параметрів за встановлені межі з наступним їх поверненням в зону допустимих значень, необхідно аналізувати характер зміни діагностичних параметрів на даному інтервалі [28].

Діагностування такого ЕП з розімкненою системою керування буде здійснюватись протягом обмеженого часу методом тестування в такій послідовності:

1. Для експлуатаційного персоналу важливо, щоб ЕП міг виконувати покладені на нього функції із заданими показниками регулювання. Саме тому діагностування варто починати з визначення функціональної

придатності привода, а вже потім, за необхідності, переходити до пошуку причини через яку привод більше не може виконувати свої функції із заданими показниками регулювання. Таким чином спочатку здійснюється моніторинг функціонального блоку, який, згідно рисунку 2.1, має індекс n .

$$\begin{cases} i = \overline{1, n}, \\ i = n, \end{cases} \quad (2.1)$$

де n – кількість вимірювальних каналів по числу діагностованих блоків ЕП.

2. Перейдемо в площину відносних одиниць. Це дозволить сформувати уніфіковані, незмінні в часі границі областей їх допустимих значень i , як наслідок, спростити процес аналізу:

$$\begin{cases} \varepsilon(t) = \frac{|x(t) - x_{\text{ном}}(t)|}{x_{\text{ном}}(t)}, \\ \varepsilon(t) > 0, \end{cases} \quad (2.2)$$

де $\varepsilon(t)$ – точність відпрацювання задаючого впливу;

$x(t)$ – фактичне значення діагностичного параметра;

$x_{\text{ном}}(t)$ – номінальне значення діагностичного параметра.

3. Якщо точність відпрацювання задаючого впливу в n -му каналі $\varepsilon_n(t)$ виходить за межі ГПД, то одразу приймається рішення про несправність, після чого привод виводиться з експлуатації:

$$\varepsilon_n(t) \geq \varepsilon_{\text{гр}} \rightarrow \text{несправність}, \quad (2.3)$$

де $\varepsilon_{\text{гр}}$ – гранично допустиме значення відхилення діагностичного параметра від його номінального значення по відношенню до ГПД.

4. Якщо точність відпрацювання задаючого впливу в n -му каналі $\varepsilon_n(t)$ виходить за межі ОПД, то проводиться перевірка на предмет появи

короткотривалого збою в роботі обладнання. В процесі даної перевірки на вхід системи подається ступінчастий вхідний сигнал (рисунок 2.2):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{if } \varepsilon_n(t) \geq \varepsilon_{\text{доп}} \text{ then } \left\{ \begin{array}{l} j = \overline{1,3}, \\ \varepsilon_{t_j} = \frac{|x_{t_j}(t) - x_{t_{\text{ном}j}}(t)|}{x_{t_{\text{ном}j}}(t)} \rightarrow m_j, \\ m_{\Sigma} = m_{\Sigma} + m_j, \\ j = j + 1, \end{array} \right. \\ \text{if } m_{\Sigma} \geq q \rightarrow \text{несправність} \end{array} \right. \quad (2.8)$$

де $\varepsilon_{\text{доп}}$ – граничнодопустиме значення відхилення діагностичного параметра від його номінального значення по відношенню до ОПД;

ε_{t_j} – точність відпрацювання j -го тестового задаючого впливу $x_{t_j}(t)$;

$x_{t_{\text{ном}j}}(t)$ – номінальне значення діагностичного параметра при дії j -го тестового задаючого впливу $x_{t_j}(t)$;

m_j – кількість перевищень меж ОПД протягом дії j -тої тестової перевірки;

m_{Σ} – загальна кількість перевищень меж ОПД протягом дії j -тих тестових перевірок;

q – граничне значення, яке визначає необхідну кількість перевищень меж ОПД (для виявлення несправності) протягом дії j -тих тестових перевірок.

5. В подальшому, у випадку необхідності, в такій же послідовності можна провести діагностування кожного з окремих блоків моделі, яка зображена на рисунку 2.1.

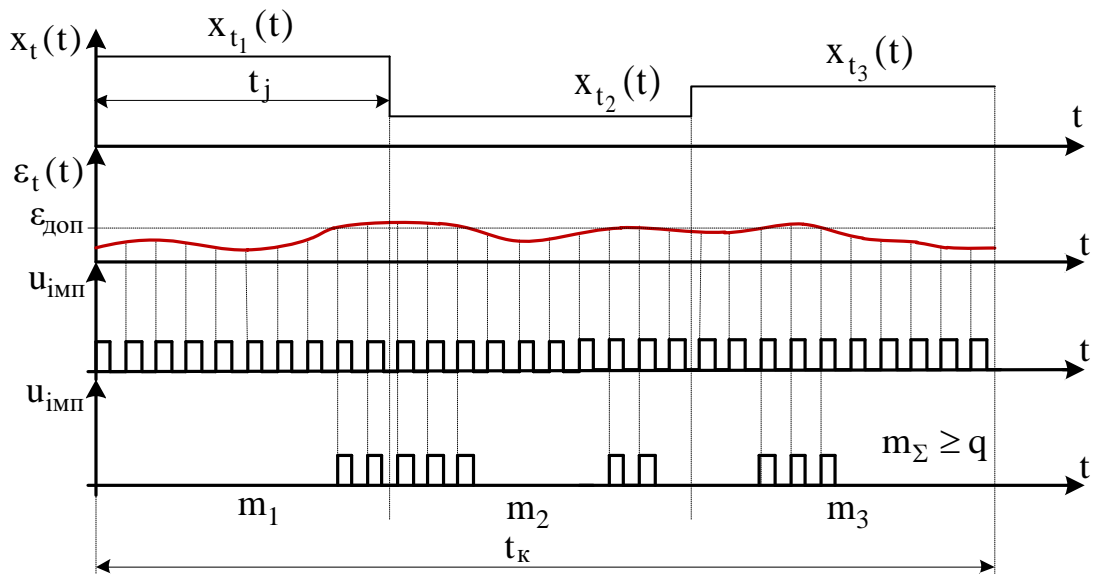


Рисунок 2.2 – Вихід діагностичного параметра за межу ОПД

Узагальнено, відповідна математична модель діагностування ЕП має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} i = \overline{1, n}, \\ \varepsilon_i(t) = \frac{|x_i(t) - x_{\text{ном}_i}(t)|}{x_{\text{ном}_i}(t)}, \quad \varepsilon(t) > 0, \\ i = n, \\ \text{if } \varepsilon_n(t) \geq \varepsilon_{\text{гр}} \rightarrow \text{несправність}, \\ \text{if } \varepsilon_n(t) \geq \varepsilon_{\text{доп}} \text{ then } \left\{ \begin{array}{l} j = \overline{1, 3}, \\ \varepsilon_{t_j} = \frac{|x_{t_j}(t) - x_{t_{\text{ном}_j}}(t)|}{x_{t_{\text{ном}_j}}(t)} \rightarrow m_j, \\ m_{\Sigma} = m_{\Sigma} + m_j, \\ j = j + 1, \\ \text{if } m_{\Sigma} \geq q \rightarrow \text{несправність}. \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (2.8)$$

Процес діагностування згідно моделі (2.8) можна представити у вигляді алгоритму, який зображено на рисунку 2.3.

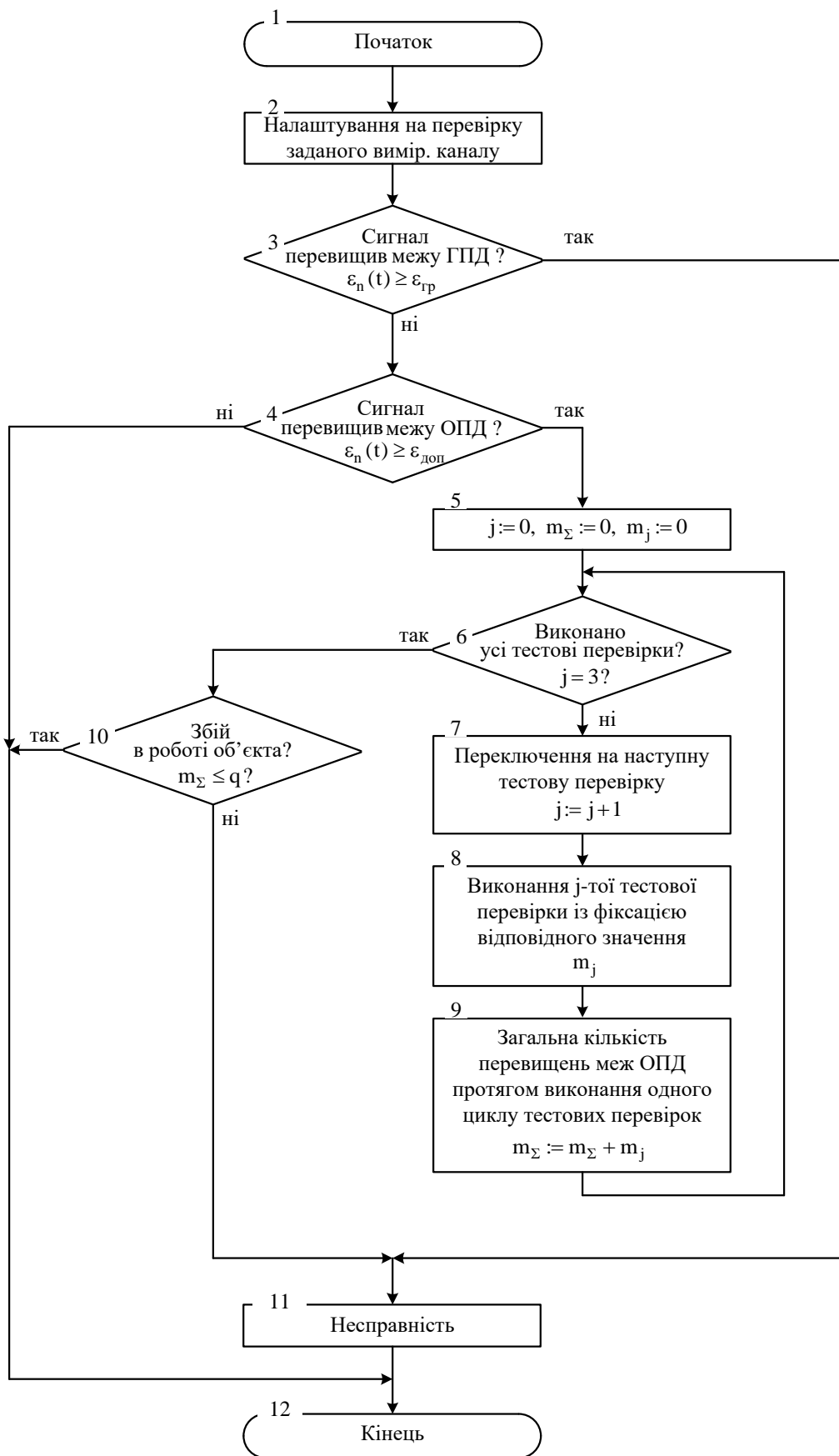


Рисунок 2.3 – Узагальнений алгоритм діагностування

Алгоритм містить такі складові:

- в блоці 2 відбувається налаштування на перевірку певного вимірювального каналу. При проведенні функціонального діагностування усього об'єкта в цілому налаштування відбувається одразу на останній вимірювальний канал;
- в блоці 4 реалізовано порівняння значення отриманого сигналу $\varepsilon(t)$ із межами ГПД $\varepsilon_{гр}$;
- в блоці 5 здійснюється обнулення локальних змінних;
- в блоках 6 – 10 реалізовано процедуру потрібної тестової перевірки з метою визначення збою в роботі об'єкта діагностування;
- в блоці 11 реалізовано індикацію виявленого несправного стану об'єкта діагностування.

2.2 Розробка структури пристрою діагностування електропривода

Структуру пристрою діагностування ЕП реалізуємо відповідно до запропонованої в підрозділі 2.1 математичної моделі.

З аналізу даної моделі випливає, що для технічної реалізації пристрою діагностування необхідно передбачити як мінімум один сенсор параметрів при реалізації функціонального діагностування, або n сенсорів при реалізації структурного діагностування, а також блок, який би здійснював необхідні процедури аналізу. При реалізації пристрою діагностування доцільно також передбачити виведення масиву отриманої інформації для подальшої її обробки та збереження в електронно-обчислювальну машину (ЕОМ) або зовнішній блок пам'яті.

При розробці структури пристрою діагностування скористаємось методом структурно-логічного аналізу.

Відповідно до загальної технології синтезу необхідно попередньо здійснити опис функціонування структури пристрою.

Пристрій повинен забезпечувати тестове експрес діагностування ЕП на предмет його придатності до виконання покладених на нього функцій із заданими показниками, тобто повинен здійснювати так зване функціональне діагностування ЕП. Діагностування повинно здійснюватись в період пауз в роботі привода за командою оператора чи автоматичного керуючого пристрою.

Процедура аналізу діагностичного параметра полягає у проведенні його аналізу відносно меж ГПД та ОПД. Якщо діагностичний параметр перевищив межу ГПД, то одразу ж повинен формуватись висновок про неполадки в роботі ЕП. Якщо ж діагностичний параметр знаходиться в межах ГПД, проте перевищив межу ОПД, то необхідно впевнитись, що це дійсно неполадки в роботі привода, а не тимчасовий збій в роботі обладнання. З цією метою повинна виконуватись додаткова серія тестових перевірок.

Отже, отримана структурна схема пристрою, яка забезпечує функціональне діагностування ЕП, зображена на рисунку 2.4.

На рисунку 2.4 введена така система позначень: 1 – «Пуск»; 2 – «Стоп»; 3 – блок формування тестових послідовностей; 4 – одинвібратор; 5 – об'єкт діагностування; 6 – модель об'єкта діагностування; 7 – сенсор параметрів; 8 – перетворювач сигналу; 9 – блок аналітичних розрахунків; 10 – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 11 – формувач рівнів сигналів; 12, 13 – цифрові компаратори; 14 – тригер; 15 – генератор імпульсів; 16 – елемент І; 17 – регістр; 18 – цифровий компаратор; 19 – блок індикації.

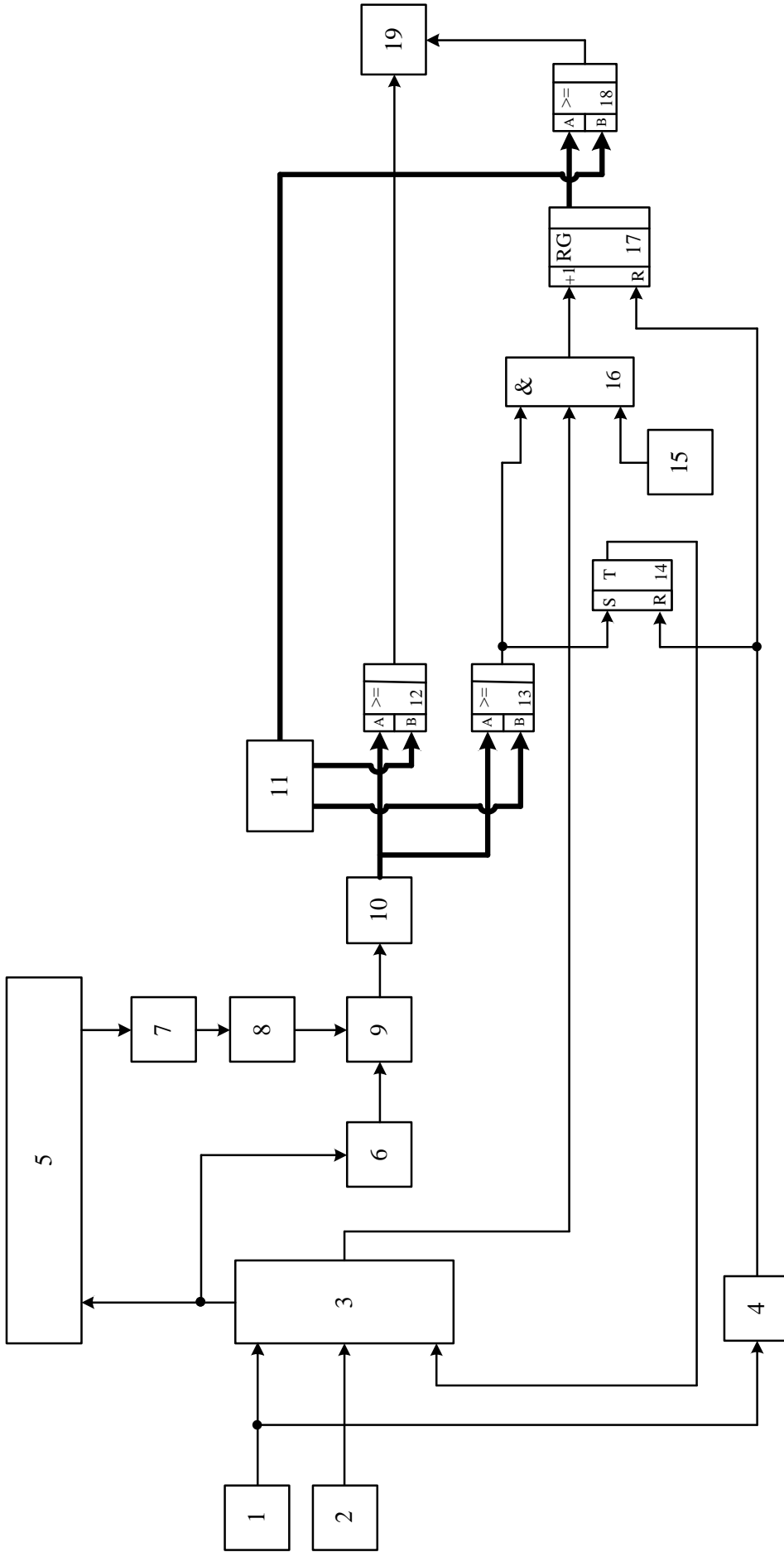


Рисунок 2.4 – Структурна схема пристрою функціонального діагностування ЕП

Запропонований пристрій працює так. Процедура діагностування може бути розпочати в період паузи в робот приводу і коли оператор дасть дозвіл розпочати діагностування. При цьому на виході блока 1 з'явиться сигнал логічної одиниці. Даний сигнал надходить вхід одновібратора 4, який формує короткий одиничний імпульс для обнулення елементів пам'яті перед початком діагностування, а також на перший вхід блока формування тестових послідовностей 3. При цьому на першому виході останнього формується базовий тестовий сигнал, який подається на вхід об'єкта діагностування 5 та моделі об'єкта діагностування 6.

Сенсор параметрів 7 та перетворювач сигналу 8 утворюють вимірювальний канал. Таким чином на перший та другий вхід блока аналітичних розрахунків 9 надходять вимірний та зразковий сигнали. Після виконання аналітичних розрахунків на виході блока 9 формується сигнал $\varepsilon(t)$, який характеризує точність відпрацювання задаючого впливу. Даний сигнал через АЦП 10 подається на перші входи цифрових компараторів 12 та 13. На другі входи останній подаються зразкові, які визначають межі ГПД та ОПД.

Якщо сигнал $\varepsilon(t)$ перевищив встановлену межу ГПД, то на виході цифрового компаратора 12 формується сигнал логічної одиниці, який подається на перший вхід індикатора 19 і сповіщає оператора про виявлену несправність. При цьому рекомендується об'єкт діагностування вивести з експлуатації і передати в сервіс.

Якщо сигнал $\varepsilon(t)$ знаходиться в межах ГПД, проте перевищив межу ОПД, то на виході цифрового компаратора 13 формується сигнал логічної одиниці, який подається на перший вхід елемента І 16 та на перший вхід тригера 14. При цьому на виході тригера 14 з'являється сигнал логічної одиниці, який надходить на третій вхід блока формування тестових послідовностей 3. При цьому на першому виході останнього по черзі формується три тестових сигнали, які подаються та вхід об'єкта

діагностування, а на другому виході цього ж блока формується сигнал логічної одиниці, який надходить на другий вхід блока І 16. При цьому на виході вимірювального каналу, який утворений блоками 7 та 8, а також моделі 6 формуються відповідні виміряні та номінальні значення сигналів. На виході блока 9 формуються відповідні сигнали, які характеризують точність відпрацювання відповідних тестових сигналів. Якщо дані сигнали перевищують межу ОПД, то в момент виконання операції порівняння на виході цифрового компаратора 13 з'являється сигнал логічної одиниці, який подається на перший вхід блока І 16. Таким чином на регістр 17 починають поступати імпульси від генератора імпульсів 15. На виході регістра 17 формується цифровий код, який відповідає сумарній кількості імпульсів, що надійшли на його вхід від генератора 15 під час виконання серії перевірок із трьох тестових сигналів. Це цифровий код подається на перший вхід цифрового компаратора 18, при цьому на його другий вхід, з третього виходу формувача рівнів 11, подається код, який відповідає граничному значенню, яке визначає необхідну кількість перевищень меж ОПД (для виявлення несправності) протягом дії j -тих тестових перевірок. Якщо умова перевірки в цифровому компараторі 18 виконується, то на його виході формується сигнал логічної одиниці, який подається на другий вхід індикатора 19 і сповіщає оператора про виявлену несправність. При цьому об'єкт діагностування може ще експлуатуватись деякий час, проте рекомендується в найближчий період об'єкт вивести з експлуатації і передати в сервіс до настання граничного стану.

Якщо в процесі виконання виникла необхідність зупинити процес діагностування, то для цього достатньо, щоб на другий вхід блока формування тестових послідовностей надійшов сигнал логічної одиниці з виходу блока 2.

2.3 Розробка мікропроцесорного засобу діагностування електропривода

2.3.1 Обґрунтування переходу на мікропроцесорну елементну базу

Останнім часом все більшого поширення набула техніка виконана на базі різних типів мікропроцесорів. Мікропроцесори стали основою нового покоління інтелектуальних машин. Вони зустрічаються скрізь: починаючи від дитячих іграшок і закінчуючи установками промислових роботів тощо [30]. Це визначається рядом перевагами і можливостей які з'являються при використанні мікропроцесорів:

- висока надійність роботи;
- висока швидкодія;
- малі масо-габаритні показники;
- мала потужність споживання електричної енергії;
- висока гнучкість для переналагодження системи тощо.

При застосуванні сучасної елементної бази вартість розробки і собівартість мікропроцесорного пристрою значно нижчі, ніж однакового за функціями аналогового, але ефективність системи значно вища [31].

При реалізації пристрою діагностування перехід на мікропроцесорну реалізацію дозволить збільшити кількість діагностичних параметрів, підвищити швидкодію пристрою, його енергетичні показники та надійність, а також зменшити масо-габаритні тощо. Таким чином доцільність реалізації розробленої раніше структурної схеми пристрою діагностування ЕП на базі мікропроцесора є очевидною.

При реалізації пристрою також варто передбачити виведення на екран оперативної інформації про стан привода, а також виведення масиву отриманої інформації для подальшої обробки та збереження в ЕОМ або зовнішній блок пам'яті.

2.3.2 Розробка мікропроцесорного засобу діагностування електропривода на основі універсального контролера

У відповідності до розробленої математичної моделі (підрозділ 2.1) та розробленої структурної схеми пристрою діагностування ЕП (підрозділ 2.2) здійснимо відповідну мікропроцесорну реалізацію на базі типового універсального мікроконтролера, наприклад, сімейства AVR фірми Atmel.

AVR – це нове сімейство 8-розрядних мікроконтролерів побудованих на швидкодіючій гарвардській RISC-архітектурі [32], завдяки чому забезпечується їх висока продуктивність.

Структурна схема пристрою діагностування зображена на рисунку 2.5.

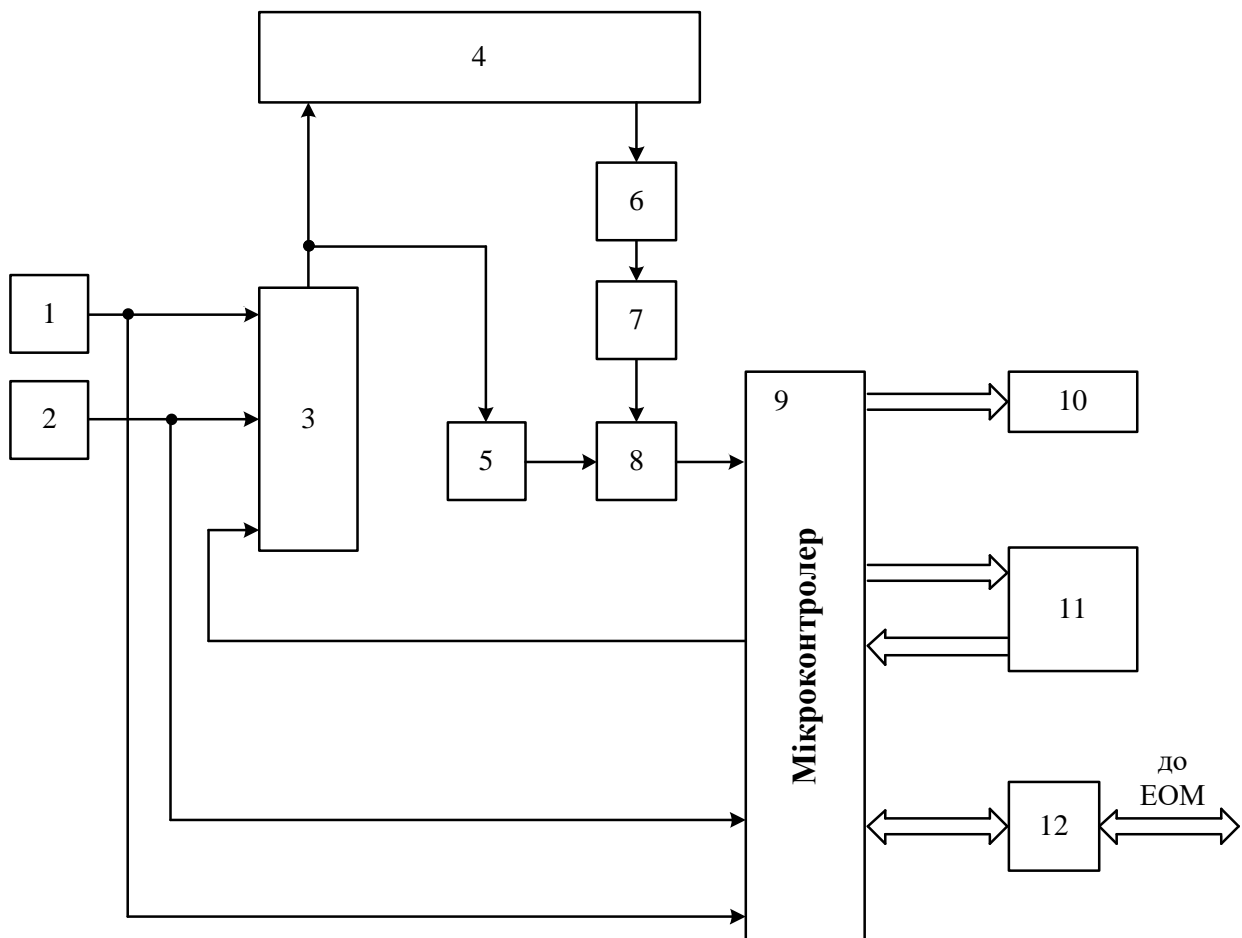


Рисунок 2.5– Структурна схема мікропроцесорного пристрою діагностування ЕП

На рисунку 2.5 введена така система позначень: 1 – «Пуск»; 2 – «Стоп»; 3 – блок формування тестових послідовностей; 4 – об'єкт діагностування; 5 – модель об'єкта діагностування; 6 – сенсор параметрів; 7 – перетворювач сигналу; 8 – блок аналітичних розрахунків; 9 – мікроконтролер; 10 – матричний програмований індикатор; 11 – клавіатура; 12 – перетворювач рівнів сигналів.

За командою оператора починається процес діагностування привода в період паузи в роботі останнього (пр. цьому на виході блока 1 з'являється одиничний сигнал. Даний сигнал надходить на перший вхід блока формування тестових послідовностей 3. При цьому на першому виході останнього формується базовий тестовий сигнал, який подається на вхід об'єкта діагностування 4 та моделі об'єкта діагностування 5.

Сенсор параметрів 6 та перетворювач сигналу 7 утворюють вимірювальний канал. Таким чином на перший та другий вхід блока аналітичних розрахунків 8 надходять вимірний та зразковий сигнали. Після виконання аналітичних розрахунків на вході блока 8 формується сигнал $\varepsilon(t)$, який характеризує точність відпрацювання задаючого впливу. Даний сигнал подається на мікроконтролер 9 для подальшого його аналізу.

Мікроконтролер 9 здійснює аналіз виміряного значення сигналу $\varepsilon(t)$ по відношенню до ГПД та ОПД згідно алгоритму роботи, який зображено на рисунку 2.6. Для керування роботою пристрою застосовується клавіатура 11 та матричний програмований індикатор 10. За допомогою перетворювача рівнів сигналів 12 забезпечується зв'язок з ЕОМ верхнього рівня.

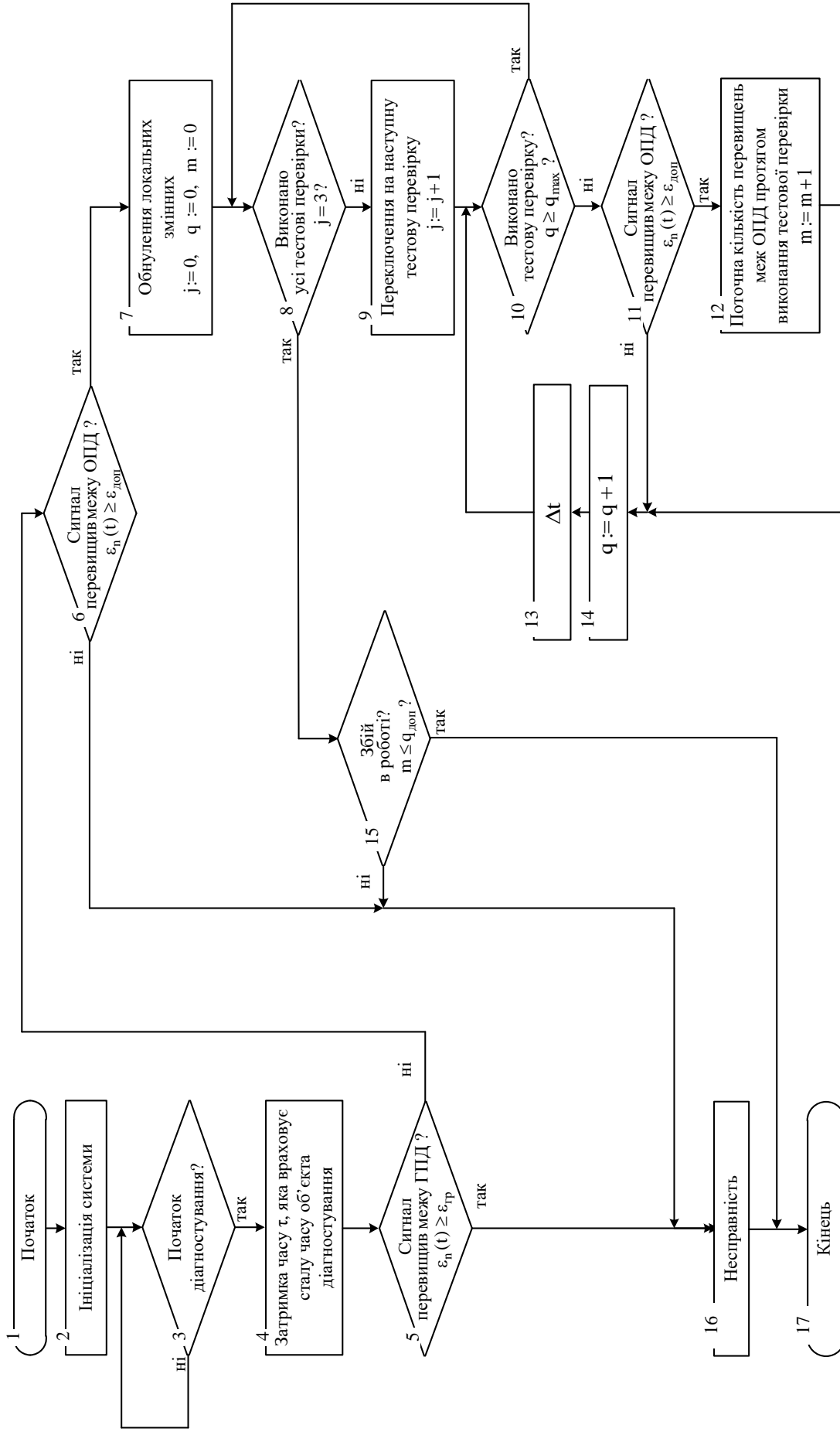


Рисунок 2.6 – Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування ЕП

Алгоритм містить такі складові:

- блоки 1, 2 – початок роботи мікроконтролера, а також налаштування роботи його портів;
- блок 3 – перевірка умови початку процесу діагностування за вказівкою оператора;
- в блоці 4 враховано сталу часу об'єкта діагностування;
- в блоці 5 проводиться перевірка виходу діагностичного параметра за межу ГПД;
- в блоці 6 проводиться перевірка виходу діагностичного параметра за межу ОПД;
- в блоці 7 відбувається обнуління локальних змінних, які використовуються при виконанні комплексу перевірок на збій в роботі об'єкта діагностування;
- в блоці 8 здійснюється перевірка умови закінчення виконання серії із трьох перевірок на збій в роботі об'єкта діагностування;
- в блоці 9 проводиться переключення на наступну перевірку із циклу з трьох перевірок на збій в роботі об'єкта діагностування;
- в блоці 10 відбувається перевірка умови закінчення поточної тестової перевірки із серії з трьох перевірок на збій в роботі об'єкта діагностування;
- в блоках 11 – 15 реалізовано виконання однієї перевірки із циклу з трьох перевірок на збій в роботі об'єкта діагностування;
- в блоці 6 відбувається індикація несправного стану об'єкта діагностування.

2.3.2 Розробка мікропроцесорного засобу діагностування електропривода на основі спеціалізованого контролера

Також пристрій діагностування можна реалізувати і на основі спеціалізованих мікропроцесорних систем, які від універсальних відрізняються тим, що вже спочатку більше орієнтовані на промислове використання. До спеціалізованих мікропроцесорних систем відносять, зокрема, промислові логічні контролери (ПЛК).

ПЛК – мікропроцесорна система спеціального призначення, яка забезпечує реалізацію алгоритмів логічного керування та замкнутих систем автоматичного керування в галузі промислової автоматики [33].

В загальному вигляді ПЛК складається з двох основних блоків: процесорного модуля, який здійснює управління роботою ПЛК, і системи вводу/виводу зовнішніх сигналів, яка забезпечує інтерфейс між процесорним модулем і інформаційними (входами) і керуючими каналами (виходами) (рисунок 2.7) [34].

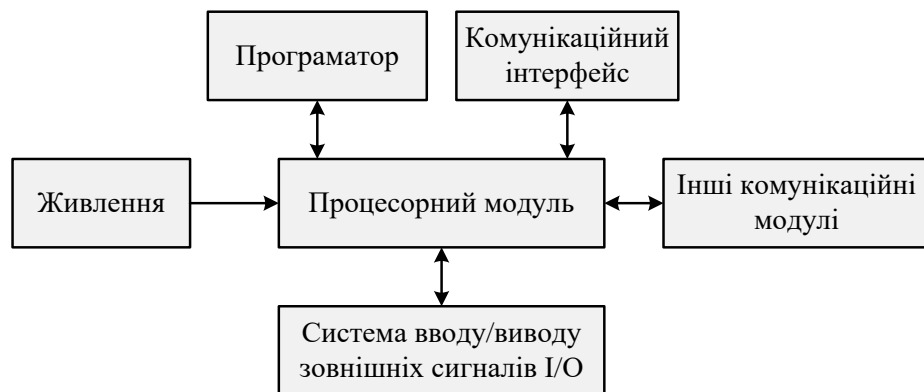


Рисунок 2.7 – Узагальнена структура ПЛК

Оскільки ПЛК орієнтовані на промислове використання, то виробники більш ретельно підходять до їх проектування, при цьому особлива увага приділяється питанню надійності. Саме тому надійність ПЛК є вищою ніж аналогічних за функціональними можливостями універсальних мікропроцесорних системи.

Використання ПЛК для реалізації пристроїв керування та діагностування зумовлено рядом їх переваг:

- висока надійність експлуатації;
- наявність закінченої корпусної конструкції, яка за рахунок використання спеціально передбачених шинних конекторів дозволяє без зайвих ускладнень нарощувати або змінювати конфігурацію контролера відповідно до задач, які необхідно вирішити;
- наявність широкого ряду типових функціональних модулів розширення, які спеціально розроблені для виконання окремого ряду задач;
- для програмування контролерів використовуються спеціально розроблені графічні мови програмування, які є простими для сприйняття, а тому навіть обслуговуючий персонал, за умови елементарної підготовки, може вносити незначні корективи в програми роботи пристрою.

Використаємо типовий ПЛК для реалізації пристрою діагностування ЕП, наприклад, LOGO 12/24 RC фірми Siemens.

Програмування здійснюється мовою FBD, яка являє собою функціональний план і відображає програму у вигляді графічного представлення, що нагадує логічні схеми. Основними елементами мови FBD є звичайні логічні елементи та деякі спеціальні, побудовані на їх основі.

Сам мікроконтролер містить в своїй структурі аналогові і дискретні входи та виходи, релейні виходи, вбудований дисплей, комунікаційний порт для зв'язку з персональним комп'ютером.

Основні технічні дані мікроконтролера LOGO 12/24 RC: напруга живлення 12/24 В DC; споживана потужність 0,4 – 1,8 Вт; цифрові входи «0» < 5 В DC, «1» > 8 В DC; аналогові входи (виходи) 0 – 10 В DC; час циклу на функцію <0,1 мс [35].

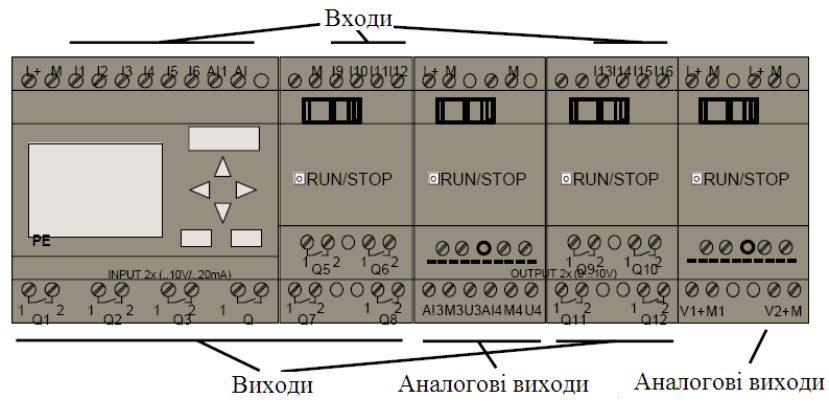


Рисунок 2.8 – Типова конфігурація мікроконтролера LOGO!

Структурну схему підключення мікропроцесорного пристрою діагностування ЕП реалізовану на базі ПЛК LOGO 12/24 RC наведено на рисунку 2.9.

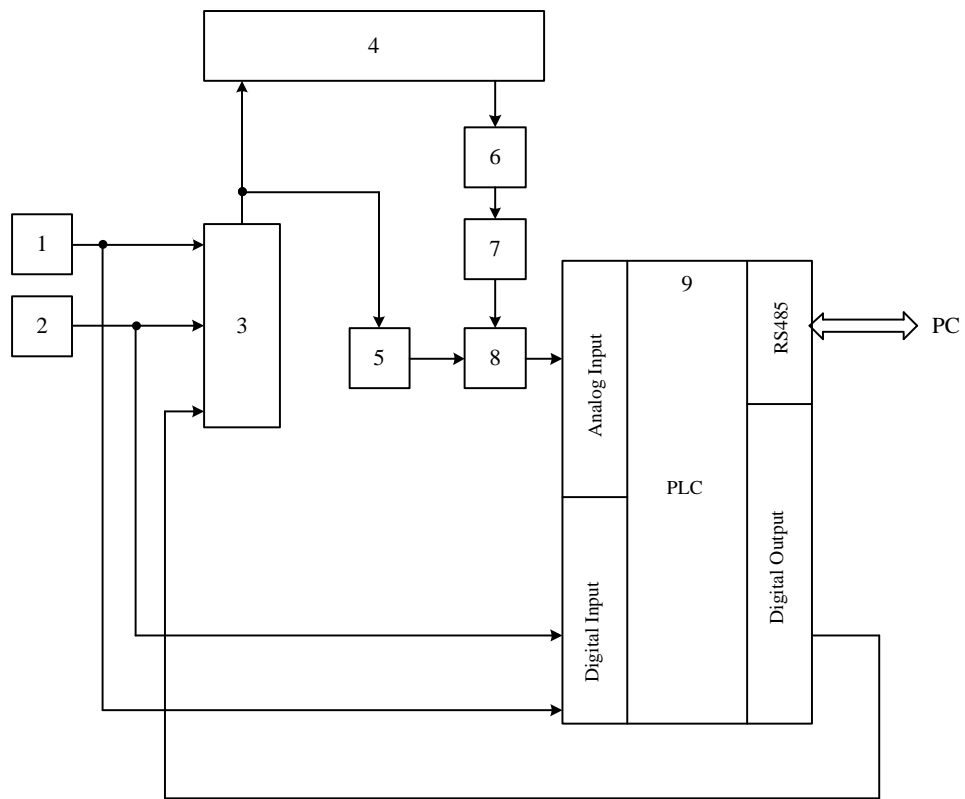


Рисунок 2.9 – Структурна схема мікропроцесорного пристрою діагностування ЕП на базі ПЛК LOGO 12/24 RC

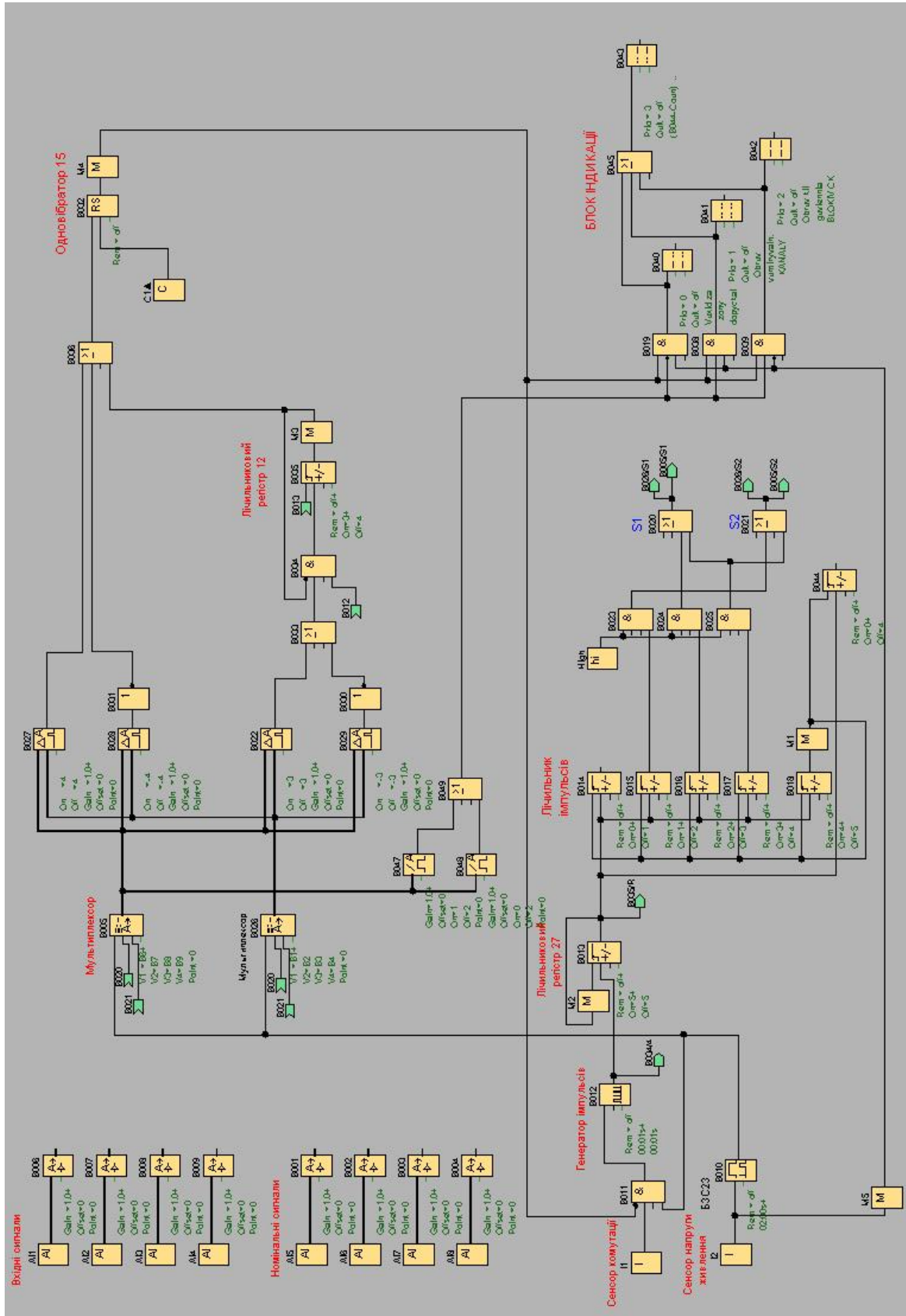


Рисунок 2.10 – Програма функціонування мікроконтролера LOGO!

Висновок. Удосконалено математичну модель діагностування електропривода, яка дозволяє здійснювати функціональне діагностування привода на основі аналізу його діагностичних параметрів відносно областей їх допустимих значень.

Синтезовано структурну схему пристрою функціонального діагностування електропривода, який, на відміну від відомих, забезпечує коректну роботу при короткотривалих збоях в роботі об'єкта діагностування.

Розроблено алгоритми функціонування та структурні схеми мікропроцесорних засобів діагностування електропривода, що дає можливість розширити функціональні можливості засобів діагностування, збільшити їх гнучкість при переналагодженні, покращити енергетичні показники та підвищити надійність роботи.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено математичну модель для функціонального діагностування ЕП і на її основі розроблено структуру пристрою діагностування.

Для прикладу розрахуємо сумарні витрати на реалізацію деякого типового ЕП з комплектацією його пристроєм діагностування.

Складемо калькуляцію собівартості готового виробу при використанні різних типів контролерів (універсального та спеціалізованого) для реалізації пристрою діагностування.

3.1 Розрахунок капітальних вкладень

В таблиці 3.1 приведено розрахунок відповідних капітальних вкладень на реалізацію даного пристрою.

Таблиця 3.1 – Капітальні витрати на електроустаткування [36-40]

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.	
	ЕП з універсальним контролером для пристрою діагностування	ЕП з спеціалізованим контролером для пристрою діагностування
Електричний привод:		
Приводний двигун МТКФ-012-6 (2,2 кВт)	3500	
Силовий перетворювач Sinamics V20 (4,0 кВт)	13245	
Апарати захисту, комутаційні апарати, система керування	10000	

Продовження таблиці 3.1

Найменування обладнання	Кошторисна вартість, грн.	
	ЕП з універсальним контролером для пристрою діагностування	ЕП з спеціалізованим контролером для пристрою діагностування
Пристрій діагностування:		
Сенсор параметрів	1500	1500
Контролер	188	4285
Блок живлення	350	2292
Монтажна оснастка	500	500
Розробка програмного забезпечення	5000	15000
Всього	34283	50322
Витрати на транспортування (10%)	3428	5032
Монтажні та налагоджувальні роботи (10%)	3428	5032
Всього капітальні вкладення К	41140	60386

Капітальні вкладення становлять:

$$K_1 = 41140 \text{ (грн),}$$

$$K_2 = 60386 \text{ (грн).}$$

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік [41].

Витрати на експлуатацію включають в себе витрати на обслуговування і ремонт, амортизаційні відрахування, вартість споживаної електроенергії, вартість втрат електроенергії тощо [41].

3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річні амортизаційні відрахування (при нормі амортизаційних відрахувань 10 %) [41]:

$$C_a = 0,1 \cdot K. \quad (3.1)$$

$$C_{a_1} = 0,1 \cdot 41140 = 4114 \text{ (грн/рік)}.$$

$$C_{a_2} = 0,1 \cdot 60386 \approx 6039 \text{ (грн/рік)}.$$

3.2.2 Розрахунок заробітної плати обслуговуючого персоналу

Згідно ПУЕ обслуговувати установки до 1000 В може робітник, у якого розряд не нижче четвертого, група допуску по електробезпеці не нижче третьої.

Витрати на заробітну плату обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою [41]:

$$C_z = C_{z_0} + C_{зд}, \quad (3.2)$$

де C_{z_0} – основна заробітна плата по тарифу, грн/рік;

$C_{зд}$ – додаткова заробітна плата, грн/рік.

Основна заробітна плата по тарифу [41]:

$$C_{z_0} = N \cdot T_1 \cdot k \cdot \Phi_{\text{еф}} \cdot K_c \cdot \beta, \quad (3.3)$$

де N – кількість робітників, що обслуговують установку ($N = 1$ чел);

T_1 – годинна тарифна ставка робітника 1-го розряду ($T_1 = 22$ грн/год);

k – тарифний коефіцієнт 5-го розряду ($k = 2,33$);

$\Phi_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу обслуговування вантажного підйомника (прийmemo $\Phi_{\text{еф}} = 365$ днів \cdot $0,5$ год = $182,5$ год/рік);

K_c – коефіцієнт співвідношень, встановлений генеральною угодою між профспілками і урядом ($K_c = 1$);

β – частка часу, який витрачає робітник на обслуговування установки в загальному часі своєї роботи ($\beta = 1$),

$$C_{\text{зо}} = 1 \cdot 22 \cdot 2,33 \cdot 182,5 \cdot 1 \cdot 1 = 9355 \text{ (грн/рік)}.$$

Додаткова заробітна плата $C_{\text{зд}}$ становить 10% від основної заробітної плати: [41]

$$C_{\text{зд}} = 0,1 \cdot C_{\text{зо}}. \quad (3.4)$$

Додаткова заробітна плата становить [41]:

$$C_{\text{зд}} = 0,1 \cdot 9355 \approx 935 \text{ (грн/рік)}.$$

Таблиця 3.2 – Розрахунок заробітної плати

Показник	Сума
Основна заробітна плата $C_{\text{зо}}$, грн/рік	9355
Додаткова заробітна плата $C_{\text{зд}}$, грн/рік	935
Разом основна і додаткова заробітна плата ($C_{\text{зо}}+C_{\text{зд}}$), грн/рік	10290
Єдиний внесок на загальнообов'язкове соціальне страхування (22%) $C_{\text{зн}}$, грн/рік	2264
Всього нарахування, грн/рік	12554

3.2.3 Розрахунок витрат на силову енергію

Витрати на споживану електроенергію визначаються для кожного елемента за формулою [41]:

$$C_e = \frac{P}{\eta} \cdot \Phi \cdot K_3 \cdot B, \quad (3.5)$$

де P – установлена потужність ($P = 2,2$ кВт);

η – ККД привода ($\eta = \eta_{\text{дв.н}} \cdot \eta_{\text{пч}} = 0,85 \cdot 0,96 = 0,82$);

Φ – дійсний фонд часу роботи електропривода за рік (прийmemo $\Phi = 4000$ год/рік);

K_3 – коефіцієнт завантаження (використання за потужністю) (приймаемо $K_3 = 0,8$);

B – вартість електроенергії ($c = 2,83$ грн/(кВт·год)).

Витрати на електроенергію складуть:

$$C_e = \frac{2,2}{0,82} \cdot 4000 \cdot 0,8 \cdot 2,83 = 24416 \text{ (грн/рік)}.$$

3.2.4 Розрахунок витрат на поточний ремонт обладнання

Річний план технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання служить основою для визначення чисельності ремонтного персоналу, річної потреби в матеріалах, запасних частинах, покупних виробках, комплектуючої апаратури, для складання планового кошторису на ремонт.

Поточний ремонт – вид ремонту енергетичного обладнання і мереж, при якому шляхом чистки, перевірки, заміни швидко зношуваних частин забезпечується підтримання обладнання або мережі в працездатному стані до наступного чергового планового ремонту.

При капітальному ремонті здійснюється повне розбирання обладнання, відновлення або заміна зношених деталей, вузлів, елементів, ремонт базових деталей, обмоток. Проводиться регулювання, налагодження з доведенням всіх характеристик і параметрів обладнання або мереж до номінальних паспортних

даних з забезпеченням працездатності на період гарантійного напрацювання до чергового капітального ремонту. Одноразові витрати на поновлення оборотних фондів у зв'язку з впровадженням нової техніки включають витрати на придбання необхідної кількості запасів основних матеріалів, запасних частин, комплектуючих виробів тощо. З використанням системи технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання визначають необхідний рівень запасів матеріалів.

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

Для визначення витрат на оплату праці робітників – ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Графік планово-попереджувальних ремонтів наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд-год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування				6				6				7	19
Двигун			5				5				5		15
Кабельна мережа				4				4				4	12
Апарати захисту				3				3				3	9
Сенсори, система діагностування				2				2				3	7
Загальна трудомісткість $\Phi_{\text{рем}}$												62	

Вважаємо, що ремонтні роботи проводить електромонтер п'ятого розряду. З врахуванням того, що нам відома трудомісткість робіт, основну заробітну плату розрахуємо за формулою [41]:

$$C_{з\ по} = T_1 \cdot k \cdot \Phi_{\text{рем}}, \quad (3.6)$$

де k – тарифний коефіцієнт 5-го розряду ($k = 2,33$);

$\Phi_{\text{рем}}$ – трудомісткість ремонтних робіт,

$$C_{з\text{ по}} = 22 \cdot 2,33 \cdot 62 = 3178 \text{ (грн/рік)},$$

Нарахування на заробітну плату (22%):

$$C_{з\text{ пн}} = 0,22 \cdot C_{з\text{ по}}, \quad (3.7)$$

$$C_{з\text{ пн}} = 0,22 \cdot 3178 = 699 \text{ (грн/рік)},$$

Всього витрати на заробітну плату для проведення ремонтних робіт становлять [41]:

$$C_{з\text{ пр}} = C_{з\text{ по}} + C_{з\text{ пн}}, \quad (3.8)$$

$$C_{з\text{ пр}} = 3178 + 699 = 3877 \text{ (грн/рік)},$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% витрат від основної заробітної плати [41]:

$$C_{м\text{ пр}} = 0,15 \cdot C_{з\text{ по}}, \quad (3.9)$$

$$C_{м\text{ пр}} = 0,15 \cdot 3178 = 477 \text{ (грн/рік)},$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять [41]:

$$C_{пр} = C_{з\text{ пр}} + C_{м\text{ пр}}, \quad (3.10)$$

$$C_{пр} = 3877 + 477 = 4354 \text{ (грн/рік)},$$

3.2.5 Інші витрати

Розмір інших витрат приймається рівним 5% від загальної суми попередніх витрати [41]:

$$C_{ін} = 0,05 \cdot (C_a + C_з + C_e + C_{пр}), \quad (3.11)$$

$$C_{ін1} = 0,05 \cdot (4114 + 12554 + 24416 + 4354) = 2272 \text{ (грн/рік)},$$

$$C_{ін2} = 0,05 \cdot (6039 + 12554 + 24416 + 4354) = 2368 \text{ (грн/рік)}.$$

Розрахунок загальної суми експлуатаційних витрат наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Експлуатаційні витрати, грн/рік

Найменування витрат	Сума	
	ЕП з універсальним контролером для пристрою діагностування	ЕП з спеціалізованим контролером для пристрою діагностування
Амортизаційні відрахування C_a	4114	6039
Заробітна плата C_z обслуговуючого персоналу	12554	12554
Витрати на електроенергію C_e	24416	24416
Витрати на поточний ремонт $C_{пр}$	4354	4354
Інші витрати $C_{ін}$	2272	2368
Всього експлуатаційні витрати C	47710	49731

Висновок: Розраховано капітальні вкладення для реалізації електропривода виробничого механізму в сукупності з системою функціонального діагностування привода. Розраховано основну заробітну плату, витрати на електроенергію, витрати на планові ремонти та інші витрати.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці належить до соціально-економічних систем, головним завданням яких є врахування громадських та особистих інтересів людей. Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні росту ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення і поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки, зниження виробничого травматизму і профзахворювань. Економічне значення охорони праці визначається ефективністю заходів з покращення умов і підвищення безпеки праці та є економічним виразом соціальної значущості охорони праці.

Роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці, в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Це забезпечить не лише безпечність умов праці, а й створить відчуття добробуту на роботі.

У випускній магістерській роботі аналізуються шляхи підвищення надійності роботи електроприводів виробничих механізмів. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на оперативно-ремонтний персонал, що здійснює контроль та обслуговування силового обладнання підприємства, зокрема електроприводу, згідно ГОСТ 12.0.003-74:

1) фізичні:

- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- рухомі машини і механізми, незахищені рухомі елементи виробничого обладнання;
- підвищена та понижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- недостатність природного освітлення;

- небезпечний рівень напруги електричного кола, замикання якого може відбутися через тіло людини;
 - підвищений рівень шуму на робочому місці;
 - підвищена вологість повітря;
- 2) психофізіологічні небезпечних та шкідливих виробничих фактори:
- фізичні перевантаження (динамічні);
 - нервово-психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці).

4.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

4.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Організація робочих місць електротехнічного оперативно-ремонтного персоналу підприємства, який здійснює контроль та обслуговування силового обладнання підприємства, зокрема електроприводу, має відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.28-10.

Приміщення, в якому знаходять робочі місця персоналу, має площу 27 м², при висоті стелі 3,0 метри. У приміщенні є 2 вікна шириною 2,3 м і висотою 1,5 м і двері шириною 1,5 м. У приміщенні працює 4 особи (рисунок 4.1). Тобто площа на одного працівника складає 6,75 м², що повністю відповідає встановленим нормам. Крім того, передбачається наявність таких побутових приміщень як роздягальня, кімната особистої гігієни, медпункт.

4.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В), з'єднаної з силовим трансформатором, який діагностується. Категорія умов по безпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах струмопровідної підлоги.

Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

1) розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

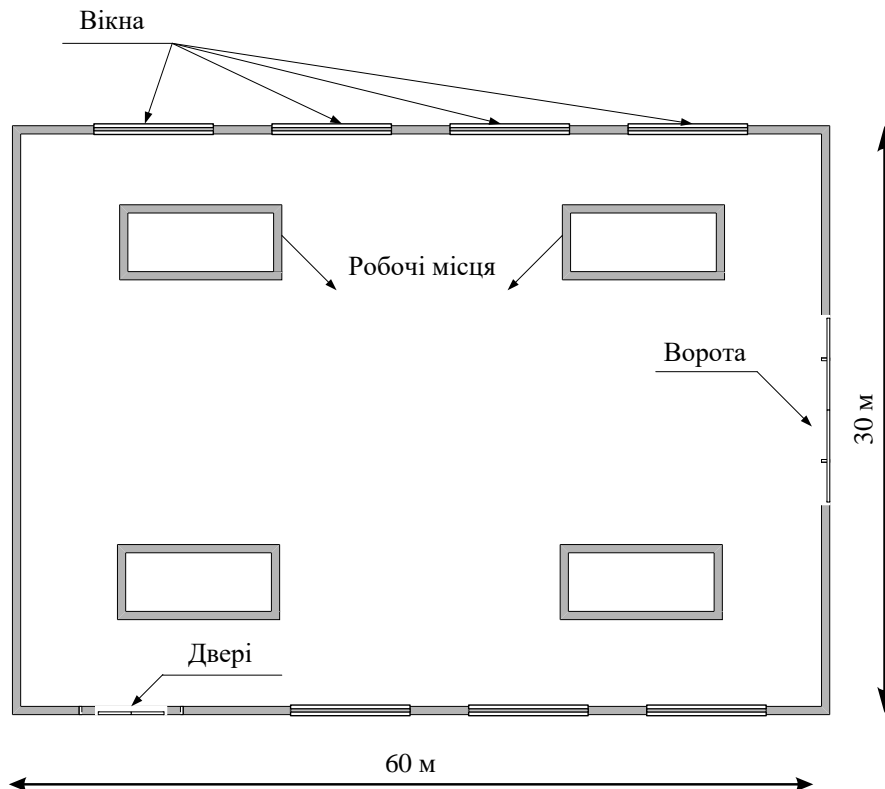


Рисунок 4.1 – Схема виробничого приміщення, де розташоване силове обладнання, що діагностується

2) при живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі. Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму КЗ залежно

від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника;

3) електрозахисні засоби захисту. Електротехнічний персонал повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Забороняється користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин, необхідно вимкнути його і повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами. В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, збірок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізольованим проводом) повинні бути заземлені.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Категорія робіт - розмежування робіт за тяжкістю на основі загальних енерговитрат організму (Вт).

Головним завданням будь-якої галузі промисловості є збільшення продуктивності праці. Разом з тим, людина, що працює, проводить на виробництві значну частину свого життя. Тому для її нормальної життєдіяльності в умовах виробництва треба створити санітарні умови, які б дали змогу їй плідно працювати, не перевтомлюючись, та зберігати своє здоров'я.

Для цього треба, щоб енергетичні витрати при праці компенсувалися відпочинком та умовами оточуючого середовища. Ці умови створюються забезпеченням для працюючого: зручного робочого місця; чистого повітря; нормованої освітленості; захисту від шуму та вібрації; робочим одягом та різними засобами індивідуального захисту.

У відповідності з наведеними енерговитратами на базі вимог даний тип роботи відносять до категорії Пб.

4.2.1 Мікроклімат

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях, під яким розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючою на організм людини сукупністю температури, вологості, руху повітря та теплового випромінювання нагрітих поверхонь.

На відміну від мікроклімату житла та громадських споруд мікроклімат виробничих приміщень характеризується значною динамічністю і залежить від коливань зовнішніх метеорологічних умов часу доби та пори року, теплофізичних особливостей технологічного процесу, умов опалення та вентиляції.

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

Основні джерела теплоти бажано розміщувати безпосередньо під аераційним ліхтарем, біля зовнішніх стін будівлі і в один ряд на такій відстані один від одного, щоб теплові потоки від них не перехрещувались на робочих місцях. Для охолодження гарячих виробів необхідно передбачити окремі приміщення. Найкращим рішенням є розміщення тепловипромінюючого обладнання в ізольованих приміщеннях або на відкритих ділянках.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення приводяться в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні виробничих приміщень з категорією робіт 1б

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість повітря не >, м/с
Холодний	Пб	17-25	75	0,2
Теплий	Пб	19-30	60	0,2

Вентиляція повітря робочої зони відповідно до відбувається через нещільно закриті вікна і через встановлену в лабораторії вентиляційну шахту.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Робочою зоною вважається простір, який обмежений огорожуючими конструкціями виробничих приміщень, що мають висоту 2 м над рівнем підлоги або площини, на яких знаходяться місця постійного або непостійного перебування працюючих. Склад повітря робочої зони залежить від складу атмосферного повітря і впливу на нього ряду шкідливих виробничих факторів, утворених в процесі трудової діяльності людини. Склад повітря залишається постійним. Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м.

Можливі забруднювачі повітря і їх ГДК наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Можливі забруднювачі повітря і їх ГДК

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально	Середньо добова	
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Нагромадження пилу глибиною в 1/8" у будь-якій області вказує на необхідність у вживанні заходів по очищенню області. Необхідно підкреслити, що будь-яке нагромадження пилу може привести до загоряння. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

4.2.3 Виробниче освітлення

Світло впливає не лише на функцію органів зору, а й на діяльність організму в цілому. При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Згідно з статистичними даними, до 5% травм можна пояснити недостатнім або нераціональним освітленням, а в 20% воно сприяло виникненню травм. Врешті, погане освітлення може призвести до професійних захворювань, наприклад, таких як робоча мнопія (короткозорість), спазм акомодатції.

Виробниче освітлення використовується природне, штучне та суміщене. Природне та штучне освітлення нормується згідно в залежності від характеру зорової роботи, найменшого розміру об'єкта розрізнення, розряду і підрозряду зорової роботи, фона і контрасту об'єкта з фоном. Згідно діючим нормам в промислових приміщеннях з постійним перебуванням працівників повинні бути передбачені світлові прорізи в стіні, для забезпечення природного освітлення:

- характер зорової роботи – середня точність;
- розряд зорової роботи – IV;
- підрозряд зорової роботи – б;
- контраст об'єкта розпізнавання – середній;
- характеристика фону – темний;
- штучне освітлення, лк: загальне – 200; бокове КПО – 1,5 %; природне – 1,5; суміщене – 0,9.

Нормовані значення параметрів приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Норма освітленості

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір б'єкта розпізнання, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Характер фону	Контраст об'єкта розпізнання з фоном	Штучне освітлення	
						Освітленість, лк	
						Комбіноване	Загальне
Середня точність	Від 0,5 до 1	IV	б	темний	середній	400	200

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КПО для бічного і верхнього освітлення. Нормовані значення КПО для будинків, розташованих у IV поясах світлового клімату, визначаються по формулі:

$$E = e_i \cdot m, \quad (4.1)$$

де e_i – визначення КПО по таблиці;

m – коефіцієнт світлового клімату ($m = 0,9$);

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

Надійність та ефективність природного і штучного освітлення залежить від своєчасності і ретельності їх обслуговування. Забруднення скла світлових отворів, ламп та світильників може знизити освітленість приміщень в 1,5-2 рази. Тому вікна необхідно мити не рідше двох разів у рік для приміщень з незначним виділенням пилу і не рідше чотирьох разів – при значному виділенні пилу. Періодичність чищення світильників – 4-12 разів на рік (залежно від характеру запиленості виробничих приміщень).

Періодично, не рідше одного разу на рік, необхідно перевіряти рівень освітленості в контрольних місцях виробничого приміщення. Основний прилад для вимірювання освітленості – люксметр.

4.2.4 Виробничий шум

Шум – будь-який небажаний звук, котрий заважає. Виробничим шумом називається шум на робочих місцях, дільницях або на територіях підприємств, котрий виникає під час виробничого процесу.

Наслідком шкідливої дії виробничого шуму можуть бути професійні захворювання, підвищення загальної захворюваності, зниженні працездатності, підвищення ступеня ризику травм та нещасних випадків пов'язаних з порушенням сприйняття попереджувальних сигналів порушення слухового контролю функціонування технологічного обладнання, зниження продуктивності праці.

За характером порушення фізіологічних функцій шум поділяється на такий, що заважає (перешкоджає мовному зв'язку), подразнювальний (викликає нервові напруження і внаслідок цього – зниження працездатності, загальну перевтому), шкідливий (порушує фізіологічні функції на тривалий період і викликає розвиток хронічних захворювань, котрі безпосередньо або опосередковано пов'язані зі слуховим сприйняттям, погіршення слуху, гіпертонію, туберкульоз, виразку шлунку), травмуючий (різко порушує фізіологічні функції організму людини). В робочому приміщенні підприємства, джерелом шуму є машини, механізми та верстати - механічний шум. Найбільш раціональний спосіб - пониження шуму в джерелі або зміна напрямку його випромінювання. Однак вони потребують конструкторської переробки джерела, яке випромінює шум або механізму в цілому, що є несприятливими.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку у виробничому приміщенні приведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску та рівня звуку

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску, дБ в октавних полосах із середньгеометричними частотами, Гц								
	1,5	3	25	50	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.

4.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

За допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях приведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	1,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на пост. Роб. місцях у вироб. Прим.	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	-	-	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	-	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$	$\frac{1,4}{109}$

* В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10-2, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено:

- динамічне погашення вібрації - приєднання до захисного об'єкту системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи;

- зміна конструктивних елементів машин;
- застосування засобів індивідуального захисту, а саме рукавиці, вкладиші і прокладки, віброзахисне взуття з пружнодемпферуючим низом.

4.2.6 Психофізіологічні фактори

а) Класи умов праці за показниками важкості праці:

Загальні енергозатрати організму (кГ/м):

Зовнішнє фізичне динамічне навантаження, виражене в одиницях механічної роботи за зміну, кГ/(Вт);

При регіональному навантаженні (для чоловіків) - 12 000(40);

При загальному навантаженні (за участю м'язів рук, тулуба, ніг) - 40 000(80);

Маса вантажу. Що постійно підіймається – до 25.

Стереотипні робочі рухи:

При локальному навантаженні (участь м'язів кистей та пальців рук)- до 60 000;

При регіональному навантаженні(участь рук та плечового суглоба) – до 30 000;

Статичне навантаження (кг/с):

– двома руками (чоловіки) – до 70 000;

– за участю м'язів тулуба та ніг – до 200 000.

Робоча поза – періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) до 25% часу зміни.

Нахил тулуба – вимушені нахили протягом зміни – 150 разів.

Переміщення у просторі (переходи задля технологічного процесу) – більше 12.

Класи умов праці за показниками напруженості праці – Інтелектуальні навантаження.

Зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом.

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій.

Розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

– зосередження (% за зміну) – до 50;

– щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150.

– навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80;

– Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25.

Емоційне навантаження:

- ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи;
- ступінь ризику для власного життя – вірогідний;
- ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

- тривалість робочого дня - більше 8 год;
- змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

4.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи електропривода в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Електроприводи є невід’ємною частиною цивільних, військових і стратегічних об’єктів. Тому вони можуть підлягати впливу іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу. Дія радіації на матеріали та обладнання залежить в основному від виду випромінювання, дози опромінення, умов навколишнього середовища. Найбільш чутливе до дії іонізуючого випромінювання електронне обладнання. В електроприводі таким обладнанням є: блок живлення, тиристри, діоди. Через це в двигуні можливі замикання обмотки збудження, а відповідно і загорання двигуна.

В результаті опромінення електропривода в регуляторах змінюється струм і коефіцієнти підсилення; в конденсаторах понижується напруга пробною і опір витoku, змінюється провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах змінюються такі параметри як електрична та діелектрична провідність.

Дія електромагнітного імпульсу на електропривод може призвести до загорання чутливих електричних та електронних елементів, зокрема транзисторів, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях. Електромагнітний імпульс пробиває ізоляцію, випалює елементи

мікросхем, викликає коротке замикання. Саме тому є необхідність запобіганню при дії цього фактору на електричне та електронне обладнання.

4.3.1 Дослідження стійкості роботи електропривода в умовах дії іонізуючих випромінювань

За критерій стійкості роботи електропривода, що розробляється, приймається допустима доза $D_{\text{доп}}(P)$ або граничне значення рівня радіації $P_{\text{гр}}(P/\text{год})$, при яких система буде нормально працювати.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{\text{гр}i}$, для елементної бази електропривода, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в таблицю 4.6.

Таблиця 4.6 – Граничні значення експозиційних доз електропривода

Елементи РЕА	$D_{\text{гр}i}, P$	$D_{\text{гр}}, P$
Інтегральні схеми	5×10^5	10 ⁴
Резистори	10 ⁷	
Транзистори	10 ⁴	
Напівпровідники	10 ⁵	
Конденсатори	10 ⁷	
Діоди	10 ⁴	

По мінімальному значенню допустимої дози, при якій в елементній базі виникають необоротні зміни, визначаємо границю стійкості роботи РЕА електропривода в цілому. Проаналізувавши дані таблиці 4.1, робимо висновок, що самим уразливим елементом електропривода з мінімальною дозою $D_{\text{гр}}=10^4 P$ є транзистори та діоди. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_M = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_{\Pi}})}{K_{\text{осл}}}, \quad (4.2)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 7,7$ Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400$ год (15 років));

t_{Π} – час початку опромінення ($t_{\Pi} = 1$ год);

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{\text{осл}} = 2$).

$$D_M = \frac{2 \cdot 7,7 (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{2} = 2783(\text{Р}).$$

Оскільки $D_{\text{гр}} > D_M$, то дана система стійка до дії радіації.

Визначимо допустимий час роботи електропривода в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (4.3)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 7,7 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 7,7} = 1299,7 \text{ (ггод)}.$$

Можлива доза опромінення елементної бази $D_M = 2783$ Р, а допустима - 10^4 Р, отже, електропривода є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи електропривода в заданих умовах становить 1299,7 год., при рівні радіації 7,7 Р/год.

4.3.2 Дослідження стійкості роботи електропривода в умовах дії електромагнітного імпульсу

При дослідженні впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) на струмопровідні елементи необхідно врахувати, що ЕМІ має горизонтальну та вертикальну складові напруженостей електричного поля і тому повинні визначатися значення напруг на вертикальних та горизонтальних ділянках

ліній. Так як для живлення силового обладнання використовується мережа живлення змінної напруги 380 В, а кола управління – постійної 24 В, то проведемо розрахунок стійкості роботи для обох мереж живлення. Напруга наводки в горизонтальній і вертикальній струмопровідній частині:

$$U_{\Gamma} = E_{\text{в}} \cdot L_{\Gamma}, \quad (4.4)$$

де $E_{\text{в}}$ – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля ($E_{\text{в}} = 9,5 \cdot 10^3 \text{ В/м}$);

L_{Γ} – довжина горизонтальної струмопровідної частини електропривода ($L_{\Gamma} = 1,5 \text{ м}$).

$$U_{\Gamma} = 9,5 \cdot 10^3 \cdot 1,5 = 14250 \text{ (В)}.$$

$$U_{\text{в}} = E_{\Gamma} \cdot L_{\text{в}}, \quad (4.5)$$

де E_{Γ} – величина вертикальної складової напруженості електромагнітного поля (В/м);

$L_{\text{в}}$ – довжина горизонтальної струмопровідної частини електропривода ($L_{\text{в}} = 2 \text{ м}$).

Визначаємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_{\Gamma} = E_{\text{в}} \cdot 10^{-3}, \quad (4.6)$$

$$E_{\Gamma} = 9,5 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 9,5 \text{ (В/м)},$$

$$U_{\text{в}} = 9,5 \cdot 2 = 19 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{\text{доп}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}}}{100} \cdot N, \quad (4.7)$$

де N – відсоток допуску ($N=5\%$).

Для силового кола ($U_{\text{ж}} = 380 \text{ В}$):

$$U_{\text{доп}} = 380 + \frac{380}{100} \cdot 5 = 399 \text{ (В)}.$$

Для кола управління ($U_{\text{ж}} = 24 \text{ В}$):

$$U_{\text{доп}} = 24 + \frac{24}{100} \cdot 5 = 25,2 \text{ (В)}.$$

Коефіцієнт безпеки визначається за формулою:

$$Кб_{\Gamma(\text{В})} = 20 \lg \frac{U_{\text{доп}}}{U_{\Gamma(\text{В})}} \geq 40 \text{ [дБ]}, \quad (4.8)$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для силового кола ($U_{\text{ж}} = 380 \text{ В}$):

– вертикальної:

$$Кб_{\text{В}} = 20 \cdot \lg \cdot \frac{399}{19} = 60,89 \text{ (дБ)};$$

– горизонтальної:

$$Кб_{\Gamma} = 20 \cdot \lg \cdot \frac{399}{14250} = -71,51 \text{ (дБ)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кола управління ($U_{\text{ж}} = 24 \text{ В}$):

– вертикальної:

$$Кб_{\text{В}} = 20 \cdot \lg \cdot \frac{25,2}{19} = 5,64 \text{ (дБ)},$$

– горизонтальної:

$$Кб_{\Gamma} = 20 \cdot \lg \cdot \frac{25,2}{14250} = -126,75 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 – Значення коефіцієнтів безпеки електропривода

Найменування	$K\bar{b}_e$	$K\bar{b}_z$	Результат дії
Силове коло, 380 В	60,89	-71,51	Нестійке
Коло управління, 24 В	5,64	-126,75	Нестійке

Отже система є нестійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи об'єкта слід застосувати екранування. Щоб визначити якої товщини необхідно застосувати екран, знайдемо перехідне затухання екрану:

$$A = K\bar{b}_{\text{ном}} - K\bar{b}_{\text{мін}}, \quad (4.9)$$

де $K\bar{b}_{\text{ном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K\bar{b}_{\text{ном}} = 40$ дБ);

$K\bar{b}_{\text{мін}}$ – мінімальний коефіцієнт безпеки отриманий під час розрахунків.

Для силового кола ($U_{\text{ж}} = 380$ В):

$$A_{380\text{В}} = 40 + 71,51 = 111,51 \text{ (дБ)}.$$

Для силового кола ($U_{\text{ж}} = 24$ В):

$$A_{24\text{В}} = 40 + 126,75 = 166,75 \text{ (дБ)}.$$

Товщину захисного екрану знайдемо за формулою:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (4.10)$$

де A – перехідне затухання екрану;

f – найбільш характерна частота ($f = 15$ кГц).

Отже для обладнання силового кола товщина екрану:

$$t_{380В} = \frac{111,51}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,175 \text{ (см)}.$$

Для обладнання кола управління товщина екрану:

$$t_{24В} = \frac{166,75}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,261 \text{ (см)}.$$

В результаті оцінки стійкості роботи електропривода в умовах дії іонізуючих випромінювань було розраховано можливу дозу опромінення елементної бази, яка по своїй величині значно менша від допустимої. Отже, в умовах дії іонізуючого випромінювання система електропривода залишається стійкою. Тому іонізуюче випромінювання для обладнання не є таким небезпечним, як для обслуговуючого персоналу, для якого потрібно буде розраховувати робочі зміни з врахуванням їх граничної дози опромінення.

До дії ЕМП система електропривода виявилась нестійкою. Для підвищення стійкості необхідно застосувати екранування з товщиною сталюого екрану близько 1,8мм.

В результаті застосування екранів система електропривода буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії випромінювання є зменшення струмопровідних провідників (їх довжини) шляхом вдосконалення схемоустаткування РЕА. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення, а також застосувати прилади, які б вимикали радіотехнічні схеми на період впливу радіації.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі наведено нове вирішення наукової задачі підвищення надійності регульованих електроприводів шляхом їх діагностування.

Зокрема, здійснено загальну характеристику електропривода, як об'єкта діагностування та визначено коло основних дефектів електроприводів, які найбільш часто виникають в силових колах електропривода та його колах керування.

Удосконалено математичну модель діагностування електропривода, яка дозволяє здійснювати функціональне діагностування привода на основі аналізу його діагностичних параметрів відносно основного та граничного областей допустимих значень параметрів, а також враховує можливі короткотривалі збої в роботі об'єкта діагностування.

Синтезовано структурну схему пристрою функціонального діагностування електропривода, який, на відміну від відомих, забезпечує коректну роботу при короткотривалих збоях в роботі об'єкта діагностування.

Розроблено алгоритми функціонування та структурні схеми мікропроцесорних засобів діагностування електропривода, що дає можливість розширити функціональні можливості засобів діагностування, збільшити їх гнучкість при переналадженні, покращити енергетичні показники та підвищити надійність роботи.

Розраховано капітальні вкладення для реалізації електропривода виробничого механізму в сукупності з системою функціонального діагностування привода. Розраховано основну заробітну плату, витрати на електроенергію, витрати на планові ремонти та інші витрати.

Розроблено ряд заходів з охорони праці та проведено дослідження безпеки роботи пристрою діагностування в умовах надзвичайних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Электроприводы. Терміни та визначення: ДСТУ 2313-93. – [Чинний від 01.01.1995]. – К. : Держстандарт України, 1994. – 14 с.
2. Энергосбережение. Системы электропривода. Метод анализа и выбора: ДСТУ 3886-99. – [Чинний від 01.07.2000]. – К. : Госстандарт Украины, 2000. – 59 с.
3. Теорія електропривода: Підручник / М. Г. Попович, М. Г. Борисюк, В. А. Гаврилюк та ін.; За ред. М. Г. Поповича. – К. : Вища школа, 1993. – 494 с.
4. Ключев В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев – М. : Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
5. Москаленко В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.
6. Полковниченко Д. В. Послеремонтная оценка технического состояния короткозамкнутых асинхронных электродвигателей / Д. В. Полковниченко // Електротехніка і електромеханіка. – 2005. – № 1. – С. 59–62.
7. Закладний О. М. Методика прискореного діагностування електродвигунів / О. М. Закладний, О. О. Закладний // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2007. – №2. – С. 47–53.
8. Діагностика електрообладнання / Кутін В. М., Ілюхін М. О., Кутіна М. В. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 161 с.
9. Осипов О. И. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов / О. И. Осипов, Ю. С. Усынин. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.
10. Ушаков И. А. Надежность технических систем / И. А. Ушаков. М. :, Радио и связь, 1985. – 608 с.
11. Основы технической диагностики: Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / Под ред. Пархоменко П.П. – М. : Энергия, 1976. – 464 с.

12. Агамалов О. Н. Применений нечеткой нелинейной авторегрессийной модели с внешним входом для оценки технического состояния электрооборудования/ О. Н. Агамалов, Н. В. Костерев, Н. П. Лукаш, Радайда Омар // Техническая электродинамика. – 2004. – №2. – с. 49-58.

13. А. с. 1273886 СССР, МКИ G 05 В 23/02. Устройство для контроля системы управления электроприводом / Л.И. Цытович, В.А. Дегтярев, Н.В. Поваров, Р.М. Рахматулин (СССР). – № 3848770/24-24; заявл. 23.01.85; опубл. 30.11.86, Бюл. №44.

14. Локазюк В.Н. Комбинированное диагностирование и надежность вычислительных устройств / В.Н. Локазюк, В.А. Карякин. – Хмельницкий: Поділля, 1994. – 156 с.

15. А. с. 1681310 СССР, МКИ G 06 F 15/46 Устройство для диагностики неисправностей технических объектов / Н.В. Фурашов, В.И. Костеневич, Д.А. Безмен, Л.Б. Авгуль (СССР). – № 4741909/24; заявл. 14.08.89; опубл. 30.09.91, Бюл. №36.

16. Пат. № 13491 Україна. МПК G 06 F 11/22. Пристрій для діагностування несправностей технічних об'єктів / Браїловський М.М., Хорошко В.О., Чирков Д.В.; Національний авіаційний університет. – № u200505609; заявл. 10.16.2005; опубл. 17.04.2006; Бюл. №4.

17. А. с. 1239688 СССР, МКИ G 05 В 23/02/ Способ диагностики отказов элементов контура обратной связи технических объектов и устройство для его осуществления / В.П. Головенкин, П.Н. Сницаренко (СССР). – № 3753215/24-24; заявл. 08.06.84; опубл. 23.06.86, Бюл. №23.

18. Устройство для контроля: А. с. 1520483 СССР, МКИ G 05 В 23/02 / С.Н. Григорьев, А.А.Зуев, Б.С. Старшинов, В.М. Труханов (СССР). – №4436051/24-24; Заявлено 11.04.88; Опубл. 07.11.89, Бюл. №41. – 3с.

19. А. с. 607190 СССР, МКИ G 05 В 23/02. Устройство для контроля параметров / В.И. Иванов, Р-А.Д. Иванцов (СССР). – № 2198485/18-24; заявл. 09.12.75; опубл. 15.05.78, Бюл. №18.

20. Устройство для контроля параметров: А. с. 1742790 СССР, МКИ G 05 В 23/02 / В.Б. Гололобов, А.М. Иванов, Е.Ф. Новожилов, О.В. Петрушкин, М.Р. Цаленчук (СССР). – №4866538/24; Заявлено 06.06.90; Оpubл. 23.06.92, Бюл. №23. – бс.

21. А. с. 1495752 СССР, МКИ G 05 В 23/02. Устройство для поиска неисправностей / В.Ф. Кондратьев, В.Ю. Полушин, Г.В. Приказюк, Ю.А. Шарапов (СССР). – № 4364462/24-24; заявл. 21.12.87; опубл. 23.07.89, Бюл. №27.

22. А. с. 840817 СССР, МКИ G 05 В 23/02. Устройство для диагностики систем автоматического управления / А.П. Шершаков, Е.Л. Хрекин (СССР). – № 2767984/18-24; заявл. 17.05.79; опубл. 23.06.81, Бюл. №23.

23. Устройство для диагностики систем автоматического управления: А. с. 1339503 СССР, МКИ G 05 В 23/02 / А.Л. Лынов (СССР). – №4020038/24-24; Заявлено 06.02.86; Оpubл. 23.09.87, Бюл. №35. – 4с.

24. А. с. 1354161 СССР, МКИ G 05 В 23/02. Устройство контроля работоспособности динамических объектов / С.Г. Синичкин, С.Н. Лобанов (СССР). – № 3976075/24-24; заявл. 18.11.85; опубл. 23.11.87, Бюл. №43.

25. А. с. 1479914 СССР, МКИ G 05 В 23/02. Устройство для функционального контроля систем управления / В.Д. Рогожин (СССР). – № 4273121/24-24; заявл. 19.05.87; опубл. 15.05.89, Бюл. №18.

26. А. с. 1693593 СССР, МКИ G 05 В 23/02. Система контроля устройства управления электромеханическим объектом / Г.В. Овод-Марчук, А.Е. Смирнов, Л.С. Филиппович, В.В. Дудченко (СССР). – № 4709462/24; заявл. 23.06.89; опубл. 23.11.91, Бюл. №43.

27. А. с. 855612 СССР, МКИ G 05 В 23/02. Устройство для контроля системы управления / Б.П. Анисимов, В.Д. Гришин, В.А. Савичев (СССР). – № 2842020/18-24; заявл. 13.11.79; опубл. 15.08.81, Бюл. №30.

28. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / Давыдов П.С. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.

29. Технічне діагностування автоматичних аналогових керуючих пристроїв електропривода : монографія / В. В. Грабко, С. М. Бабій. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 106 с.

30. Токхайм Р. Микропроцессоры. Курс и упражнения: Пер. с англ. / Р. Токхайм. – М. :Энергоатомиздат, 1988. – 336 с.

31. Система автоматичного керування трансформатором з інтелектуальним регулятором напруги : монографія / С. М. Левицький, К. І. Колмачов. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 72 с.

32. Голубцов М. С. Микроконтроллеры AVR :от простого к сложному / М. С. Голубцов. – М. :СОЛОН-Пресс, 2003. –288 с.

33. Митин Г. П. Системы автоматизации с использованием программируемых логических контроллеров / Г. П. Митин, О. В. Хазанова. – М. : ИЦ МГТУ «Станкин», 2005. – 136 с.

34. Бабій С. М. До питання використання програмованих логічних контролерів для вирішення задач технічного діагностування / С. М. Бабій, В. В. Петрусь // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Najnowsze badania naukowe. Teoria, praktyka,, (30.03.2015 - 31.03.2015) - Warszawa: Wydawca: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2015. – 76 str. – S. 39-42. – Zbiór raportów naukowych. Wykonane na materiałach Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej Konferencji 30.03.2015 - 31.03.2015 roku. Poznan.

35. Логические модули LOGO! для промышленной автоматизации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://electricalschool.info/automation/1682-logicheskie-moduli-logo-dlja.html>

36. Электродвигатель МТКФ 012-6 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fairway.com.ua/elektrodivigateli/elektrodivigateli-kranovye/elektrodivigateli-mtkf/mtkf-012-6>

37. Преобразователь частоты Sinamics V20 4кВт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://chastotnik.com.ua/Siemens-r-6SL3210-5BE24-0UV0>

38. Микроконтроллер ATMEGA128-16AU [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://prom.ua/p24583874-mikrokontroller-atmega128-16au.html>

39. Логический модуль Siemens LOGO! 12/24 RC [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ecshop.com.ua/p108800-logicheskiy_modul_siemens_logo_12-24_rc

40. LOGO!POWER 5V/3A [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://ecshop.com.ua/p108875-logo-power_5v_3a_input_100-240v_ac_output_5v_3a_dc

41. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Менеджмент та маркетинг в системах електроспоживання» / Уклад. Демов О. Д., Мельничук Л. М. – Вінниця : ВНТУ, 2002. – 58 с.

42. Кобилянський О. В. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу “Охорона праці” в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей / О. В. Кобилянський, О. П. Терещенко. – Вінниця: ВНТУ, 2003.– 46 с.

Додаток А

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

ПОГОДЖЕНО

Заступник дек. ФЕЕЕМ з НМР

к.т.н., доцент

_____ О. Б. Бурикін

“ ___ ” _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., проф.

_____ В. М. Кутін

“ ___ ” _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

**Підвищення надійності роботи електроприводів виробничих
механізмів**

08-16.МКР.011.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

_____ С. М. Бабій

“ ___ ” _____ 20__ р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-18м

Ріваденейра Тапуй Марта Каріна

“ ___ ” _____ 20__ р.

Вінниця ВНТУ 2019

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Підвищення надійності роботи електроприводів виробничих механізмів».

Скорочене найменування розробки – «Підвищення надійності роботи електроприводів».

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

Електропривод – електромеханічна система, що складається з одного або декількох електродвигунів, перетворювального, передавального та керуючого пристроїв, призначена для приведення в рух виконавчих органів робочої машини і керування цим рухом.

4 Вимоги до розробки

Пристрій діагностування електропривода повинен забезпечувати своєчасне виявлення дефектів на ранніх стадіях їх розвитку.

5 Комплектація розробки

Виріб складається мікроконтролера, блока живлення, сенсорів параметрів, системи керування.

6 Технічні характеристики

Параметри	Значення
Режим роботи	періодичний
Кількість вимірювальних каналів	min 1

7 Джерела розробки

1. Осипов О. И. Техническая диагностика автоматизированных электроприводов / О. И. Осипов, Ю. С. Усынин. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.

2. Основы технической диагностики: Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / Под ред. Пархоменко П.П. – М. : Энергия, 1976. – 464 с.

8 Етапи виконання

Основна частина	
Графічна частина	

9 Елементна база

Мікроконтроллер, блок живлення, сенсори параметрів і т.п. виробництва України, країн близького зарубіжжя та Європи.

10 Конструктивне виконання

Пристрій діагностування виконується у вигляді окремого блока у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

11 Показники технологічності

Пристрій діагностування на сучасній елементній базі, його монтаж повинен відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється фахівцями відповідної кваліфікації.
Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць..

13 Живлення електропривода

Живлення пристрій діагностування отримує від мережі 220 В промислової частоти.

Додаток Б
Ілюстративні матеріали

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є підвищення експлуатаційної надійності електроприводів за рахунок удосконалення елементів та структур засобів діагностування їх технічного стану.

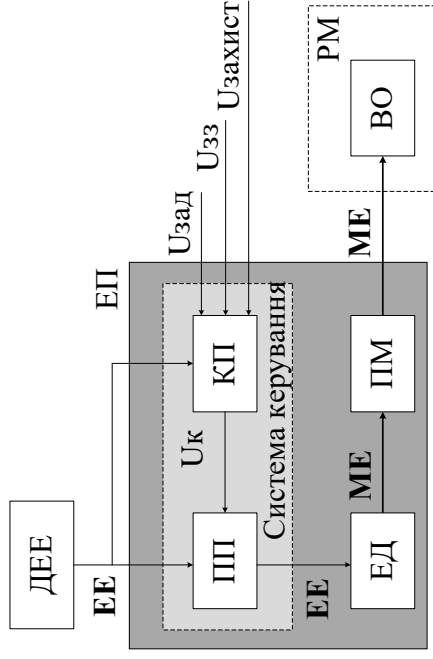
Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

1. Здійснити характеристику об'єкта діагностування та визначити перелік його основних дефектів.
2. Проаналізувати існуючі підходи і засоби діагностування електроприводів.
3. Розробити математичну модель діагностування електропривода.
4. Розробити структурну схему засобу діагностування електропривода.
5. Розробити алгоритм функціонування та структурну схему мікропроцесорного засобу діагностування електропривода.
6. Провести економічні розрахунки.
7. Розробити ряд заходів з охорони праці та описати умови безпечної експлуатації розробленої системи.

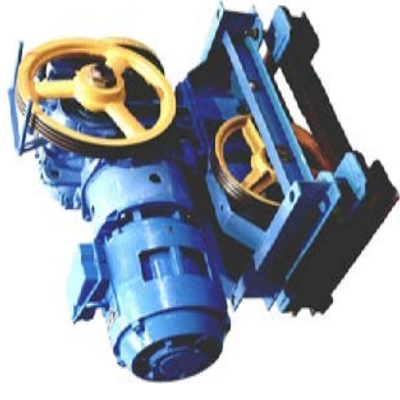
Об'єкт дослідження – процес перетворення енергії в електроприводі.

Предметом дослідження є математичні моделі та засоби діагностування електропривода.

Характеристика об'єкта дослідження



ДЕЕ – джерело електричної енергії
 ПП – перетворювальний пристрій
 ЕД – електричний двигун
 ПМ – передавальний механізм (пристрій)
 КП – керуючий пристрій
 ВО – виконавчий орган
 РМ – робоча машина
 ЕЕ – електрична енергія
 МЕ – механічна енергія

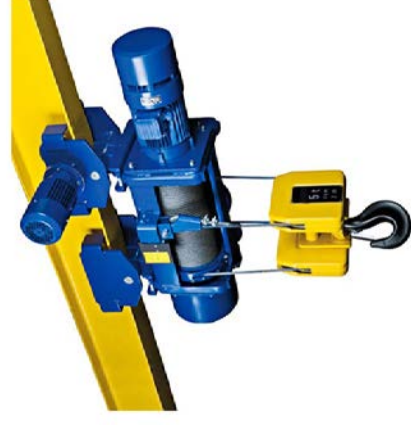


ЕП виконує дві основні функції:

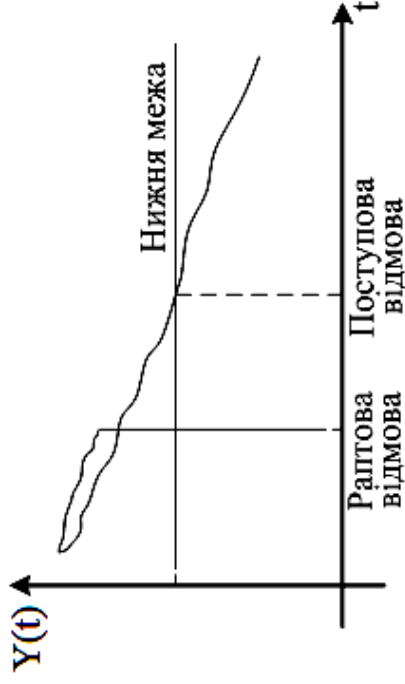
- 1) енергетична – перетворення електричної енергії в механічну, яка необхідна для реалізації різних технологічних процесів;
- 2) інтелектуальна – керування створеною механічною енергією з метою забезпечення необхідних параметрів технологічних процесів.

До переліку узагальнених вимог, які характерні для усіх ЕП відносять:

- ресурсоємність;
- енергетичну ефективність;
- точність;
- надійність (здатність ЕП виконувати свої функції протягом визначеного проміжку часу) тощо.



Основні дефекти електроприводів



Зміна параметрів ЕП в процесі експлуатації

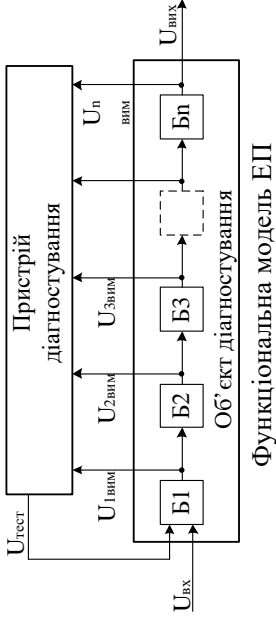
Основні дефекти, які можуть виникати в системах керування ЕП:

- відхилення від допустимої напруги живлення елементів керування;
- обрив вхідних кіл керування;
- дефект роз'єднань між блоками керування;
- помилки при визначенні дійсного значення контрольованих змінних електропривода і ряд інших дефектів.

Основні дефекти силових кіл ЕП:

- відсутність фази мережі напруги живлення ЕП;
- недопустима асиметрія напруги живлення ЕП;
- перевищення допустимого значення напруги живлення ЕП;
- неприпустимо низький рівень опору ізоляції силових кіл ЕП відносно землі;
- перевищення максимально допустимого струму в мережі живлення ЕП;
- розрив плавких вставок запобіжників в силових колах ЕП;
- пробій силового напівпровідникового елемента перетворювального пристрою;
- перевищення максимально допустимого струму в колах навантаження напівпровідникового перетворювача;
- перевищення максимально допустимої напруги на силовому напівпровідниковому елементі перетворювача;
- перевищення допустимої температури переходу силового напівпровідникового елемента (тиристора, транзистора) перетворювача;
- перевищення допустимої температури електродвигуна;
- перевищення часу стоянки двигуна під струмом;
- перевищення допустимої частоти обертання електродвигуна;
- невідповідність між заданим і дійсним значеннями частоти обертання електродвигуна.

Розробка математичної моделі діагностування електропривода



Діагностування такого ЕП буде здійснюватись протягом обмеженого часу методом тестування в такій послідовності:

1. Для експлуатаційного персоналу важливо, щоб ЕП міг виконувати покладені на нього функції із заданими показниками регулювання. Саме тому діагностування варто починати з визначення функціональної придатності привода. Таким чином спочатку здійснюється моніторинг функціонального блоку, який має індекс n :

$$\begin{cases} i = \overline{1, n}, \\ i = n, \end{cases}$$

2. Перейдемо в площину відносних одиниць. Це дозволить сформулювати уніфіковані, незмінні в часі границі областей їх допустимих значень i , як наслідок, спростити процес аналізу:

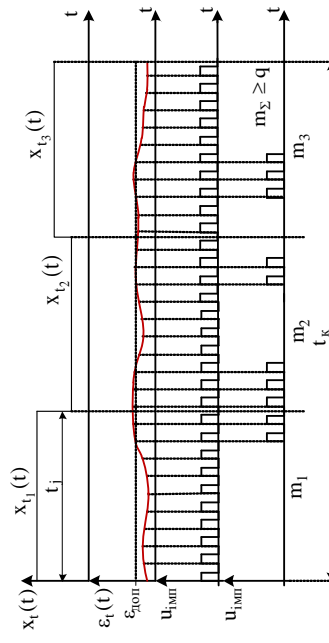
$$\begin{cases} \varepsilon(t) = \frac{|x(t) - x_{ном}(t)|}{x_{ном}(t)}, \\ \varepsilon(t) > 0, \end{cases}$$

3. Якщо точність відпрацювання заданого впливу $\varepsilon_n(t)$ виходить за межі ГПД, то одразу приймається рішення про несправність, після чого привод виводиться з експлуатації:

$$\varepsilon_n(t) \geq \varepsilon_{гр} \rightarrow \text{несправність,}$$

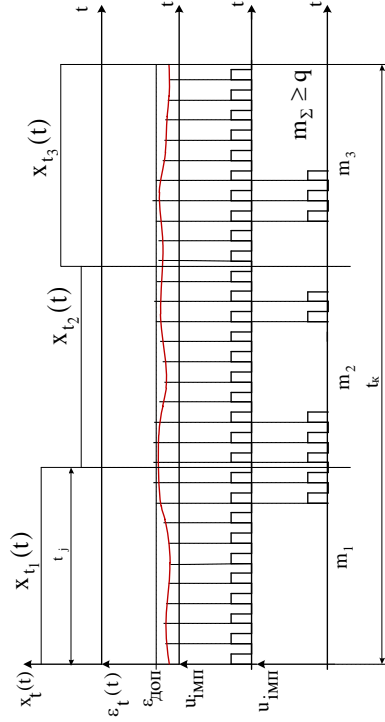
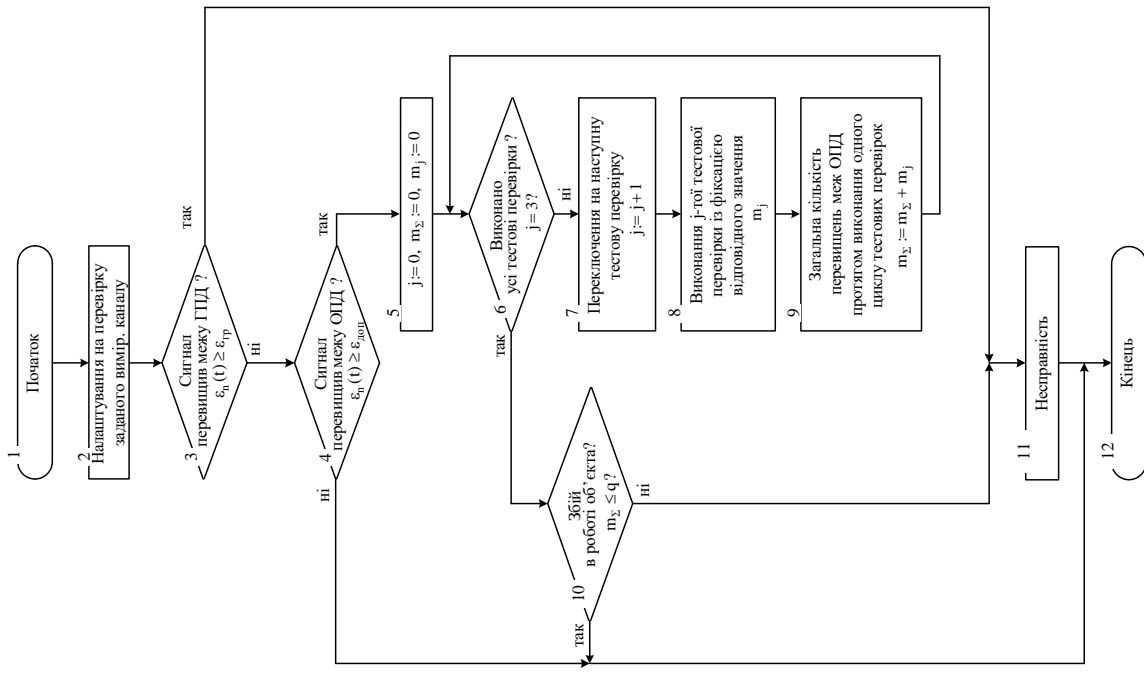
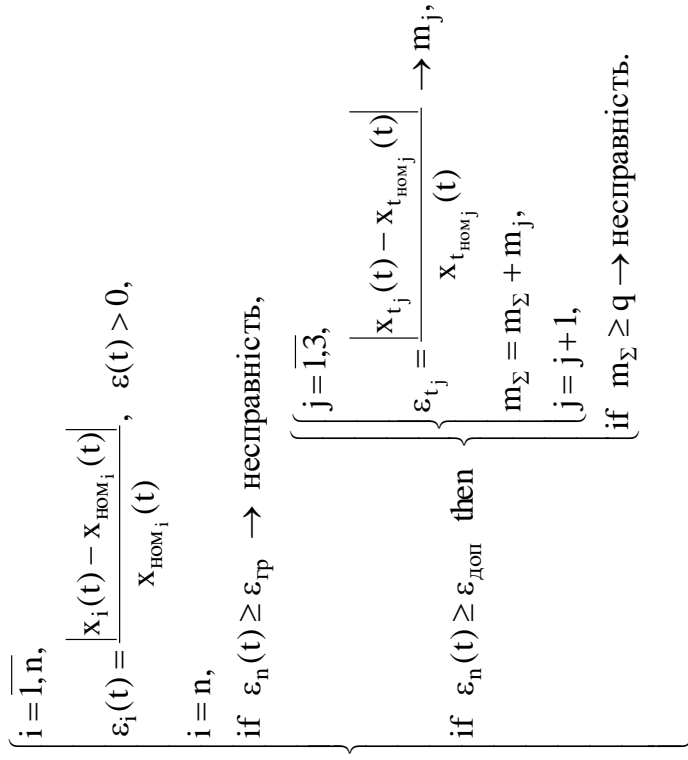
4. Якщо точність відпрацювання заданого впливу в n -му каналі $\varepsilon_n(t)$ виходить за межі ОПД, то проводиться перевірка на предмет появи короткотривалого збою в роботі обладнання:

$$\begin{cases} j = \overline{1, 3}, \\ \text{if } \varepsilon_n(t) \geq \varepsilon_{доп} \text{ then } \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{t_j} = \frac{|x_{t_j}(t) - x_{t_{ном_j}}(t)|}{x_{t_{ном_j}}(t)} \rightarrow m_j, \\ m_\Sigma = m_\Sigma + m_j, \\ j = j + 1, \end{array} \right. \\ \text{if } m_\Sigma \geq q \rightarrow \text{несправність} \end{cases}$$



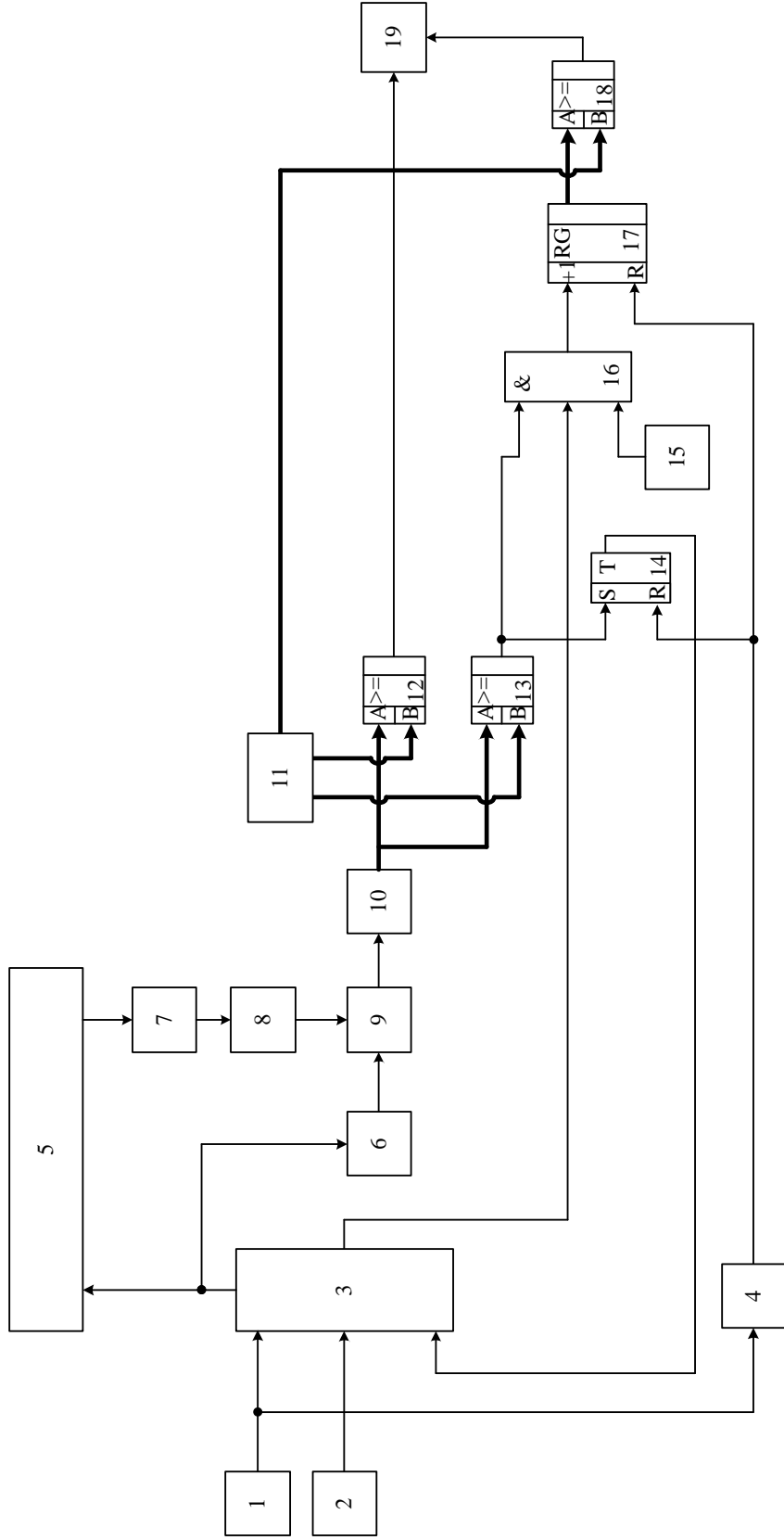
Вихід діагностичного параметра за межі ОПД

Математична модель та алгоритм діагностування електропривода



Вихід діагностичного параметра за межу ОПД

08-16.МКР.011.00.000 Е1



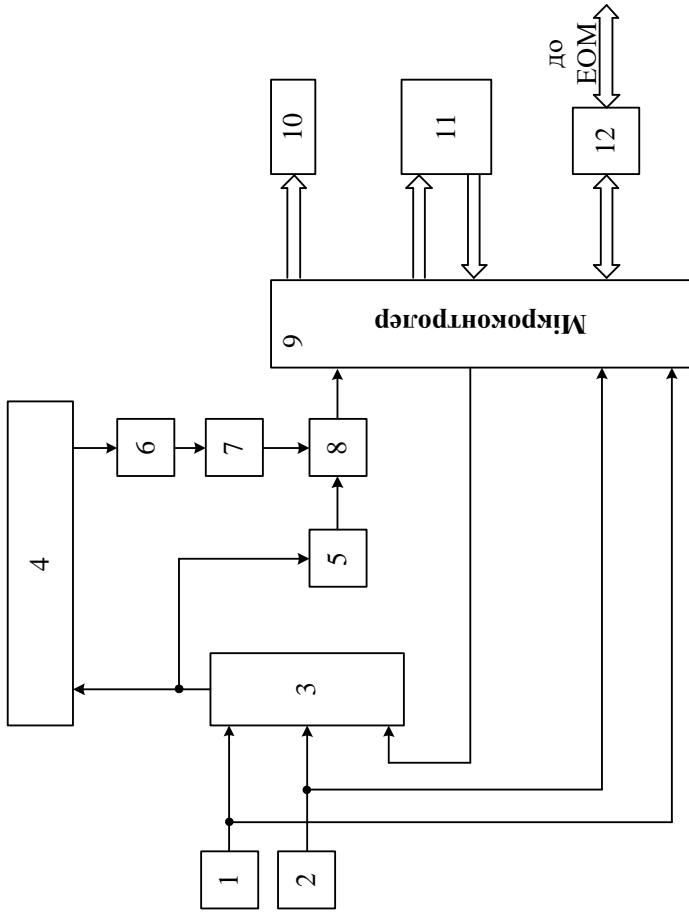
1 – «Пуск»; 2 – «Стоп»; 3 – блок формування тестових послідовностей; 4 – одновібратор; 5 – об'єкт діагностування; 6 – модель об'єкта діагностування; 7 – сенсор параметрів; 8 – перетворювач сигналу; 9 – блок аналітичних розрахунків; 10 – аналогово-цифровий перетворювач (АЦП); 11 – формувач рівнів сигналів; 12, 13 – цифрові компаратори; 14 – тригер; 15 – генератор імпульсів; 16 – елемент І; 17 – регістр; 18 – цифровий компаратор; 19 – блок індикації.

08-16.МКР.011.00.000 Е1

Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив:	Ривалевська			
Перевірив:	Бабій С.М.			
Т. конпр.				
Літ.	Місяц	Масштаб		
Аркуш	1	Аркушів	1	
гр. ЕПА-18м				

Ім'я, № ориг.	
Ім'я, № дубл.	
Ім'я, № зв.	
Ім'я, № дубл.	
Ім'я, № ориг.	

08-16.МКР.011.00.000 Е1



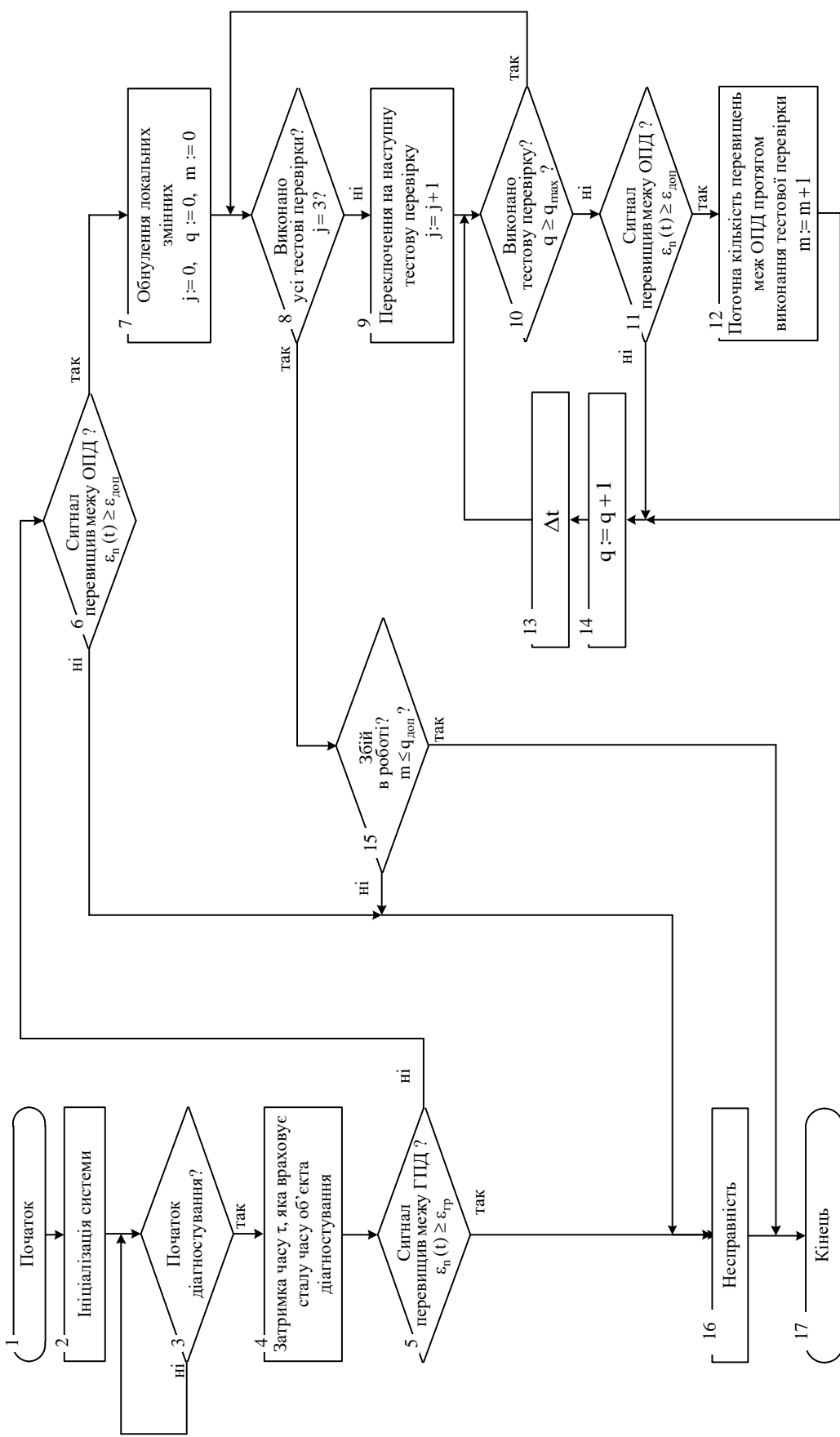
1 – «Пуск»; 2 – «Стоп»; 3 – блок формування тестових послідовностей; 4 – об'єкт діагностування; 5 – модель об'єкта діагностування; 6 – сенсор параметрів; 7 – перетворювач сигналу; 8 – блок аналітичних розрахунків; 9 – мікроконтролер; 10 – матричний програмований індикатор; 11 – клавіатура; 12 – перетворювач рівнів сигналів.

08-16.МКР.011.00.000 Е1

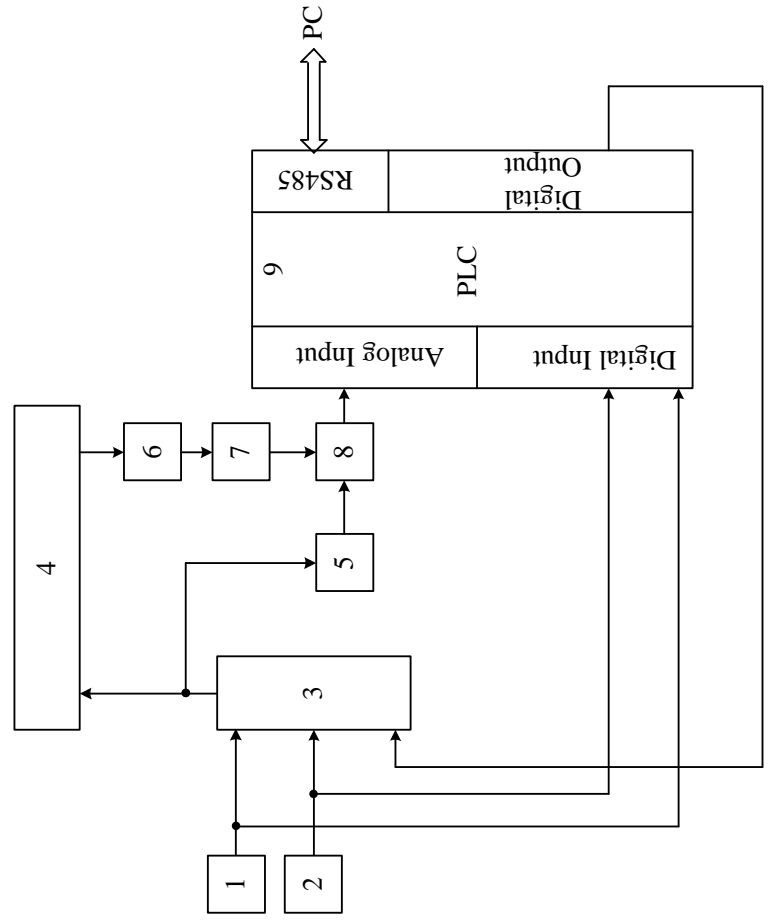
Зм.	Аук.	№ докумен.	Підпис	Дата	Літ.	Місяц	Масштаб
		Розробив:	Ривалевська				
		Перевірив:	Бабій С.М.				
		Т. конпр.					
					Аркуш 1	Аркушів 1	
Норм.кон.	Павлов О. А.				гр. ЕПА-18м		
Залверт.	Кулін В.М.						

Підпис і дата	Ім'я, № дубл.	Зам. ім'я, №	Підпис і дата	Ім'я, № ориг.
---------------	---------------	--------------	---------------	---------------

Алгоритм роботи мікропроцесорного пристрою діагностування електропривода



08-16.МКР.011.00.000 Е1



Ім'я, № опит.	Підпис і дата	Зам. ім'я, №	Ім'я, № дубл.	Підпис і дата
---------------	---------------	--------------	---------------	---------------

08-16.МКР.011.00.000 Е1		Літ.	Місяц	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата
Розробив:	Ривалевська			
Перевірив:	Бабій С.М.			
Т. констр.				
Пояс.кон.	Павлюк О.А.			
Залегр.	Кутін В.М.			
				Аркуш 1
				Аркушів 1
				гр. ЕПА-18М

Повищення надійності роботи електроприводів виробничих механізмів.
Структурна схема мікропроцесорного (на основі ПЛК) пристрою діагностування електропривода

Програма роботи мікропроцесорного пристрою діагностування електропривода

