

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Розробка автоматизованої системи діагностики генератора змінного струму

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КІТПВМ-19-1

Зеленов Д.В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

освітньої програми Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництво

(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-професійна

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Омаров Ш.А.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище,
ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет	Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра	Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми	освітньо-професійний
Освітня програма	Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва

(код і повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту _____ Зеленову Денису Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка автоматизованої системи діагностики генератора змінного струму

затверджена наказом по університету від 02.11.2020 р. № Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 07.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи

3.1 Максимальний струм генератора – 300 А;

3.2 Мова програмування – С#;

3.3 Середовище розробки Visual Studio

3.4 Живлення системи – трифазна мережа;

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз існуючих типів генераторів;

4.3 Аналіз існуючих типів несправностей генераторів;

4.4 Розробка системи та експериментальне дослідження;

4.5 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – __с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування Розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	Дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання	05.10.2020	
2	Огляд літератури за темою роботи	11.10.2020	
3	Аналіз існуючих рішень	17.10.2020	
4	Моделювання та підбір компонентів	6.11.2020	
5	Проведення експерименту діагностування	25.11.2020	
6	Оформлення атестаційної роботи	05.12.2020	
7	Подання роботи в ЕК	07.12.2020	

Дата видачі завдання _____ 20__ р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ Омаров Ш.А.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 104 с., 3 табл., 74 рис., 1 дод., 39 джерел.

ГЕНЕРАТОР ЗМІННОГО СТРУМУ, ДІАГНОСТИКА,
МОДЕЛЮВАННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТ.

Об'єкт дослідження – генератори змінного струму.

Предмет дослідження – процес діагностування генераторів змінного струму.

Мета атестаційної роботи – розробити систему автоматичного комплексного діагностування генераторів змінного струму.

Методи дослідження – математичні методи розрахунку, емпіричний метод спостереження, експеримент, аналіз даних.

В роботі проведено аналіз існуючих типів генераторів змінного струму, їх будови та областей застосування. Розглянуто особливості комунікаційних можливостей генераторів з цифровими протоколами. Спроектовано та розроблено програмно-апаратний комплекс, що діагностує генератори змінного струму та вираховує їх основні характеристики у автоматичному режимі.

Результати магістерської атестаційної роботи висвітлені в збірнику студентських наукових статей ADED-2020 [1] та випробувані на форумі «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології».

ABSTRACT

Explanatory note: 104 p., 3 tables, 74 figures, 1 app., 39 sources.

AC GENERATOR, DIAGNOSTICS, SIMULATION, EXPERIMENT.

The object of research is the process of diagnosing AC generators and alternators.

The subject of research - AC generators and alternators.

The purpose of the master's attestation work is to develop a system of automatic complex diagnostics of alternating current generators.

Research methods - mathematical methods of calculation, empirical method of observation, experiment, data analysis.

The analysis of the existing types of alternating current generators, their structure and areas of application is carried out in the work. Peculiarities of communication capabilities of generators with digital protocols are considered. A software and hardware complex has been designed and developed that diagnoses AC generators and calculates their main characteristics in automatic mode.

The results of the master's attestation work are covered in the collection of student scientific articles ADED-2020 [1].

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	6
Вступ	9
1 Аналіз технічного завдання та аналогічних рішень.....	11
1.1 Діагностичне обладнання компанії Cummins.....	11
1.2 Компанія Megger.....	12
1.3 Компанія Magneti Marelli.....	13
1.4 Постановка та аналіз технічного завдання.....	14
1.5 Висновки розділу.....	15
2 Теоретичний розділ.....	16
2.1 Визначення поняття генератору змінного струму	16
2.2 Аналіз існуючих типів генераторів змінного струму	19
2.2.1 Основні види машин змінного струму	19
2.2.2 Турбогенератори.....	20
2.2.3 Вітряні генератори.....	21
2.2.4 Автомобільні генератори	22
2.3 Числове керування генераторами змінного струму та контроль	24
2.4 Аналіз цифрових протоколів.....	25
2.4.1 Шина CAN.....	25
2.4.2 Шина LIN.....	27
2.5 Аналіз основних типів несправностей генераторів змінного струму.....	30
2.6 Висновки розділу.....	31
3 Моделювання системи діагностування несправностей генератора змінного струму.....	32
3.1 Визначення базових механічних та електричних несправностей	32
3.1.1 Перевірка реле регулятора.....	32
3.1.2 Перевірка електричних характеристик генератора.....	36
3.2 Складання структури модулів системи діагностики	39

3.2.1	Аналіз необхідних компонентів та складання структури проекту.	39
3.2.1.1	Електродвигун та перетворювач частоти.....	40
3.2.1.2	Електричний навантажувач.....	44
3.2.1.3	Блок керування пускачами та реле.....	49
3.2.1.4	Система фіксації генератора у робочій зоні.....	51
3.2.1.5	Плата керування стендом.....	54
3.2.1.6	Комп'ютер для керування системами стенду.....	56
3.3	Розробка програми керування.....	58
3.3.1	Комунікація з платою керування.....	59
3.3.2	Визначення структури даних, що передаються, та їх обробка.....	61
3.3.3	Розробка системи керування електродвигуном, навантаженням та системою фіксації.....	65
4	Тестування ситеми діагностики.....	71
4.1	Перевірка системи комунікації плати керування та програмного забезпечення.....	71
4.2	Перевірка працездатності системи фіксації генератора та системи натягування передавального ременю.....	73
4.3	Перевірка системи керування електродвигуном.....	77
4.4	Перевірка системи комутації.....	78
4.5	Перевірка генераторів різних типів.....	81
4.6	Перевірка системи автоматичного тестування.....	87
4.6.1	Перевірка обмотки збудження.....	87
4.6.2	Перевірка затримки збудження.....	88
4.6.3	Тест на визначення швидкості, на якій генератор збуджується.....	89
4.6.4	Тест максимального струму генератора.....	91
4.6.5	Перевірка тесту та результати.....	93
4.7	Виробнича санітарія в лабораторії.....	94
	Висновки.....	97
	Перелік джерел посилання.....	98
	ДОДАТОК А Демонстраційний матеріал.....	103

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ЗС – змінний струм;

СА – силовий агрегат;

СНіП – санітарні норми і правила;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

TCP – Transmission Control Protocol.

ВСТУП

Завдяки розвитку комп'ютеризації станом на 2020 рік сфери автоматизації та сфери альтернативних джерел живлення тісно зв'язані. На даний момент майже усі блоки керування (якщо вони присутні) силові агрегати (СА) представляють із себе обладнання на базі мікропроцесорів.

Зокрема змінюються принципи керування СА та методи їх використання. У випадку, наприклад, автомобільних систем, це дало змогу розробки систем автоматичного пілотування, бо усі агрегати автомобіля можуть централізовано керуватися. Для діагностики та використання СА такого типу необхідне спеціальне обладнання, що дозволить не тільки перевірити силову частину агрегату, але й цифрову також.

На даний момент ринок активно розвивається у цьому напрямку і існує не так багато підприємств (не враховуючи офіційних дилерів), що здатні випустити обладнання, що буде здатне не тільки діагностувати СА, що випускаються конкретно зараз, але й буде мати можливості програмного та апаратного розширення під нові типи агрегатів. Також немаловажним фактором є максимальна автоматизація процесу діагностики.

Таким чином, метою магістерської випускної атестаційної роботи є розробка такого засобу, що зможе автоматично діагностувати СА сучасних генераторів. Для того, щоб це стало можливим, необхідно провести певну дослідницьку роботу з принципів роботи генераторів змінного струму та цифрових протоколів.

Об'єкт дослідження – автоматизована система діагностики сучасних СА.

Предмет дослідження – принципи роботи цифрових протоколів та існуючі методи діагностики СА.

Методи дослідження – емпіричний метод спостереження, експеримент, аналіз даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати існуючі типи генераторів, що обладнані цифровим керуванням;
- розробити програмно-апаратний комплекс для керування такими генераторами;
- розробити критерії, по яким з’явиться можливість робити висновки щодо стану генератора конкретного типу;
- оформити магістерську атестаційну роботу згідно з вимогами ДСТУ 3008:2015 [2] та методичними вказівками з розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології [3].

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА АНАЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

Метою даної магістерської атестаційної роботи розробка автоматизованої системи комплексної діагностики генераторів змінного струму, що базується на експериментальному дослідженні залежності стану генераторної установки від певних вхідних факторів.

Проаналізувавши ринок виробників діагностичного обладнання для генераторів різних типів, можна виділити декілька компаній, що успішно виготовляють обладнання з діагностики генераторної техніки.

1.1 Діагностичне обладнання компанії Cummins

Компанія Cummins виготовляє генератори та двигуни для різноманітних промислових підприємств.

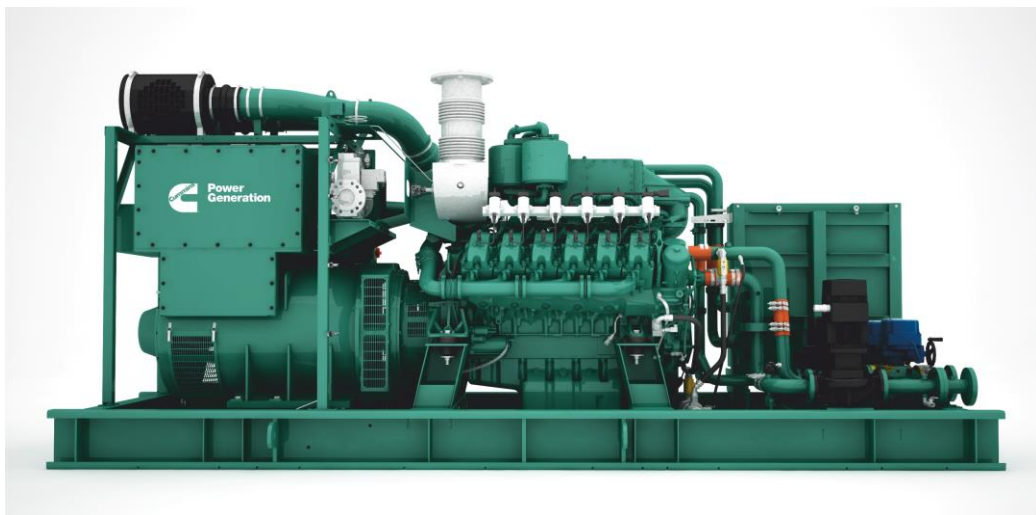


Рисунок 1.1 – Дизельний генератор фірми Cummins [5]

Компанія не виготовляє окремого обладнання для діагностики генераторів, але випускає програмне забезпечення INSITE, що, на жаль,

дозволяє діагностувати електронну складову лише генераторів її власного виробництва [6].

1.2 Компанія Megger

Компанія займається випуском діагностичного обладнання різного профілю, зокрема має у підрозділі компанію Baker Instrument, що займається виготовленням обладнання для діагностування конкретно генераторів та моторів. У асортименті компанії є тестери для статичних перевірок, наприклад тестери цілісності обмоток статора (рис. 1.2), чи тестери для динамічних перевірок (рис. 1.3).



Рисунок 1.2 – Тестер Baker DX для статичних перевірок [7]



Рисунок 1.3 – Тестер Baker EXP4000 [8]

Такий варіант обслуговування є перевагою у випадку компаній, що займаються незалежною діагностикою та потребують мобільності для можливості перевірки генератора на підприємстві. Мінусом такого варіанту обслуговування є відсутність можливості динамічного навантаження генератора та перевірки окремо від власної установки генератора.

1.3 Компанія Magneti Marelli

Італійська компанія, що розробляє діагностичне обладнання для автомобілів. Зокрема у списку своїх продуктів вони мають стенд Alt Diag Pro (рис. 1.4), що призначений для тесту генераторів під навантаженням до 300 А.

Стенд перевіряє наступні типи генераторів: LIN, BSS, C, SIG, RLO, L-RVC, LAMP.

Серед плюсів стенду можна виділити не великі масогабаритні параметри та мобільність. Середі мінусів можна відмітити відсутність протоколів CAN та Ethernet, що є базою для більшості сучасних систем.



Рисунок 1.4 – Стенд Alt Diag Pro компанії Magneti Marelli [9]

1.4 Постановка та аналіз технічного завдання

Виходячи з проаналізованих аналогічних рішень можна зробити висновок, що система, що розробляється в межах даної атестаційної роботи повинна відповідати наступним вимогам:

- мати можливість електричного навантаження генератора не менше ніж на 300 А;
- мати не великі масогабаритні параметри та можливість транспортування;
- має бути обладнана сучасними протоколами комунікації, такими як CAN та Ethernet;
- не має бути прив'язана до конкретного виробника генераторів.

1.5 Висновки розділу

У першому розділі були розглянуті аналогічні рішення на ринку, в результаті розгляду яких можна зробити висновок, що вони, або прив'язані до конкретного виробника обладнання, представляють із себе обладнання для кожного окремого типу діагностики, що не є зручним, або не мають достатніх апаратних можливостей. Було розглянуто технічне завдання для виконання даної атестаційної роботи, було складено список вимог, яким повинен відповідати результат виконання даної роботи. Також

Виходячи з цього, основними задачами, що мають бути виконані для побудування такої системи є:

- розробка критеріїв оцінки працездатності генератора;
- затвердження параметрів, які будуть вимірюватися та вираховуватися;
- розробка процесів та операцій, що будуть складати процедуру діагностики генератора;
- розробка компонентів системи та складання моделі;
- експериментальне дослідження з метою перевірки розроблених процесів діагностики.

Зокрема стандартними вимогами до системи, що розробляється, є:

- можливість підключення до промислової мережі живлення (380 В);
- наявність механізмів керованого розгону обертання генератора;
- наявність програмного та апаратного захисту оператора від аварійних ситуацій, що можуть уникнути у процесі роботи системи (захист від електричного перенавантаження, від механічних пошкоджень агрегату, що тестується тощо);
- відповідність до стандарту CE 2006/42/EC5 [4];
- наявність можливостей перевірки, яких немає у існуючих рішеннях на ринку.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення поняття генератора змінного струму

Генератор – пристрій, що перетворює механічну енергію, одержувану від обертання, в електричну. Разом з регулятором напруги він називається генераторною установкою. Генератор змінного струму має певні чіткі вимоги до експлуатації, а саме:

- вихідні параметри генератора мають бути постійними;
- надійність експлуатації.

Структура генератора є типовою для майже усіх сучасних СА. Основні компоненти генератора продемонстровані на рисунку 2.1 [10].

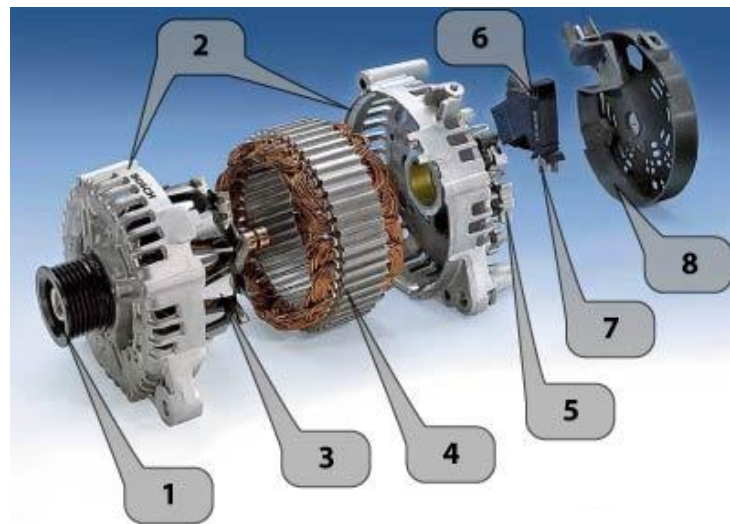


Рисунок 2.1 – Основні компоненти генератора [10]

Розглянемо кожен з цих компонентів окремо:

- шків (1) – служить для передачі механічної енергії до валу генератора за допомогою ременя або іншого засобу;

– корпус генератора (2) складається з двох кришок: передня (з боку шківів) і задня (з боку контактних кілець), призначені для кріплення статора, установки генератора і розміщення підшипників (опор) ротора. На задній кришці розміщуються випрямляч, щітковий вузол, регулятор напруги (якщо він вбудований) і зовнішні висновки для підключення до системи електрообладнання;

– ротор (3) – сталевий вал з розташованими на ньому двома сталевими втулками дзобообразної форми. Між ними знаходиться обмотка збудження, висновки якої з'єднані з контактними кільцями. Генератори обладнані переважно циліндричними мідними контактними кільцями;

– статор (4) – пакет, набраний із сталевих листів, що має форму труби. У його пазах розташована трифазна обмотка, в якій виробляється потужність генератора;

– збірка з випрямними діодами (5) – об'єднує шість потужних діодів, запресованих по три в позитивний і негативний тепловідводи;

– регулятор напруги (6) – пристрій, що підтримує необхідну напругу в заданих межах при зміні електричного навантаження, частоти обертання ротора генератора і температури навколишнього середовища;

– щітковий вузол (7) – знімна пластикова конструкція. У ній встановлено підпружинені щітки, що контактують з кільцями ротора;

– захисна кришка діодного модуля (8) [10].

Розглянемо електричну схему типового генератора, що не регулює напругу (рис. 2.2). Генератор такого типу має лише обмотку збудження та не може регулювати власну напругу, але може підтримувати постійний струм.

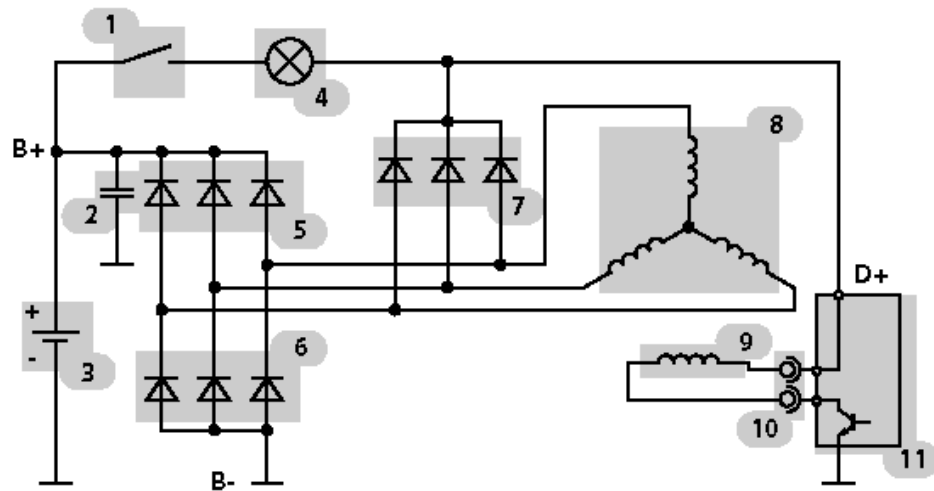


Рисунок 2.2 – Електрична схема генератора, що не регулює напругу [10]

На цій схемі чітко видно кожен окремий електричний компонент генератора змінного струму, а саме:

- вмикач (1);
- конденсатор, що гасить перешкоди (2);
- акумуляторна батарея або споживач (3);
- лампа-індикатор справності генератора (4);
- позитивні діоди силового випрямляча (5);
- негативні діоди силового випрямляча (6);
- діоди обмотки збудження (7);
- обмотки трьох фаз статора (8);
- обмотка збудження (ротор) (9);
- щітковий вузол (10);
- регулятор напруги (11);
- позитивний вихід генератора (B+);
- "маса" генератора (B-);

– живлення обмотки збудження, опорна напруга для регулятора напруги (D+) [10].

2.2 Аналіз існуючих типів генераторів змінного струму

2.2.1 Основні види машин змінного струму

На практиці застосовуються переважно трифазні ($t = 3$) машини змінного струму. Машини з іншим числом фаз ($t = 2, 6$) використовуються для спеціальних цілей. Однак дія всіх багатofазних машин засноване на принципі обертового магнітного поля, і тому їх теорія є спільною. Однофазні машини змінного струму мають обмежене при-трансформаційних змін. Нижче насамперед розглядаються трифазні машини змінного струму. Вони підрозділяються на три основних види: синхронні, асинхронні і колекторні. Всі види машин змінного струму розраховуються на роботу при синусоїдальному змінному струмі. У синхронних машинах нормальних типів ротор обертається з такою ж швидкістю і в тому ж напрямку, як і магнітне поле, що обертається. Таким чином, обертання ротора відбувається в такт, або синхронно, з обертовим полем, звідки і походить назва цього виду машин. Синхронні машини використовуються насамперед як генераторів, і за незначним винятком на електричних станціях змінного струму встановлюються синхронні генератори. Однак все більш розширюється також застосування синхронних машин в якості двигунів. Ротор асинхронних машин обертається не синхронно, або асинхронно, по відношенню до обертається магнітного поля, що навіть зумовлено назва цих машин. На практиці асинхронні машини використовуються головним чином як двигуни, і переважна кількість застосовуваних у промисловості електричних двигунів є асинхронні. Колекторні машини змінного струму також обертаються не синхронно з магнітним полем, і в цьому сенсі вони є асинхронними машинами. Однак зважаючи на наявність у них колектору та пов'язаних з цим особливостей вони

виділяються в окремий вид машин змінного струму. Найбільше застосування колекторні машини знаходять в якості двигунів. Однак їх використання обмежено, і тому найголовнішими видами машин пере-ного струму є асинхронні і синхронні машини [11].

2.2.2 Турбогенератори

Основними представниками неявнополюсних машин є турбогенератори, тобто синхронні генератори, призначені для безпосереднього з'єднання з працюючими на теплових електростанціях паровими турбінами. В даний час більшість турбогенераторів виконується двополюсними, так як парові турбіни є в принципі швидкохідними машинами і при великих швидкостях обертання їх техніко-економічного показники вище. Однак для атомних електростанцій з водо-водяними реакторами випускаються також чотиріполюсні турбогенератори [11].

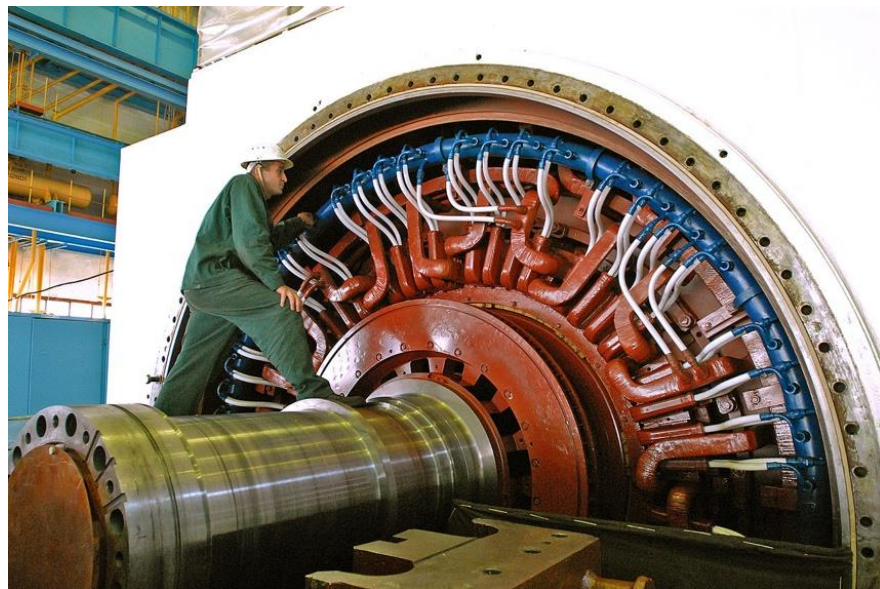


Рисунок 2.3 – Турбогенератор АЕС [12]

2.2.3 Вітряні генератори

Вітрова станція – це сукупність кількох вітряних генераторів, здатних перетворювати кінетичну енергію повітря в електричну.

Сама ж конструкція ВЕС складається з складних елементів. Назв для таких комплексів величезна кількість, однак принцип роботи незмінний. Рухливі лопаті, захоплюючи потік повітря, передають імпульс власне вітряного генератору, який разом з контролером перетворює його в електроенергію. Для збереження і перетворення постійного струму в змінний домашні вітряні електростанції оснащені акумулятором і інвертором.

Дослідження показують, що в середньому для сім'ї з 3-4 чоловік оптимальне використання 7-8 кВт електроенергії в день. Тобто для забезпечення електрикою житла середньостатистичної сім'ї буде потрібно до 300 кВт в місяць. Якщо ж разом з освітленням і використанням побутових приладів планується пустити частину енергії на опалення або нагрівання води, віддайте перевагу 500 кВт – зразком.

Розробники рекомендують встановлювати вітроелектростанції з запасом, тобто вироблення повинна перевищувати споживання приблизно на 15-20 % [13].



Рисунок 2.4 – Вітряні генератори [14]

2.2.4 Автомобільні генератори

Перш за все, автомобільні генератори змінного струму розрізняються за напругою, яку вони генерують. Таких типів усього три: 12 вольт, 24 вольт, 48 вольт. Далі генератори розрізняють залежно від типу реле-регулятора (або, так званого, терміналу), а саме.

Для генераторів з напругою 12 вольт:

- ламповий;
- SIG;
- RLO;
- RVC;
- Terminal C для автомобілів виробництва Південної Кореї;
- Terminal C для автомобілів виробництва Японії;
- P\D;
- COM (який в свою чергу поділяється на LIN та BSS);
- S\A PSA (Valeo Start Stop).

Для генераторів з напругою 24 вольт:

- ламповий;
- COM (тільки LIN);
- I-ELOOP (тільки у автомобілях компанії Mazda).

Для генераторів з напругою 48 вольт (рис. 2.5) (загалом це поєднані стартер та генератор) використовується тільки шина CAN.

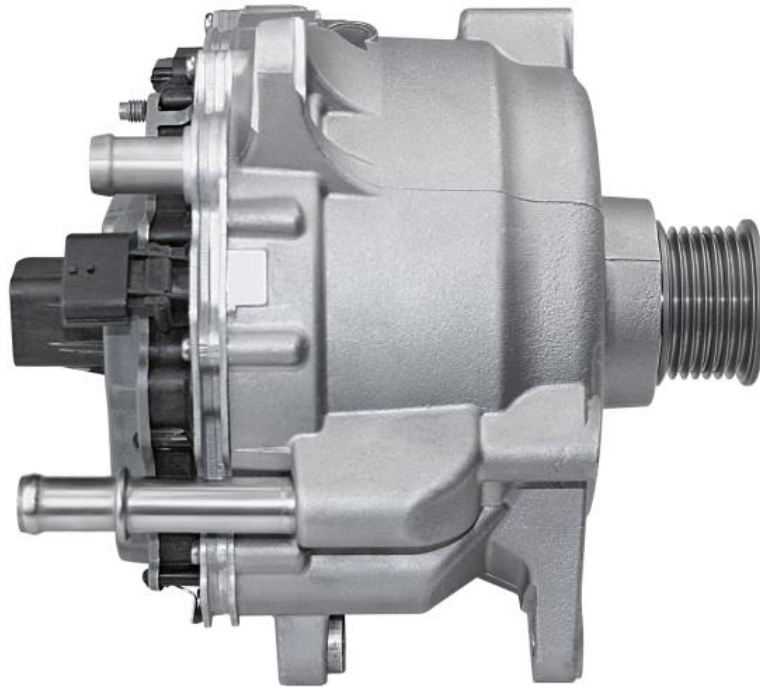


Рисунок 2.5 – Стартер генератор [15]

Принципів керування генераторами загалом усього три: для генераторів, що не керуються напругу не можливо окремо регулювати; регулювання напруги відбувається завдяки зміні заповнення імпульсу ШИМ-сигналу відповідної до кожного окремого типу частоти, до таких типів належать SIG, RLO, RVC, C (Korea), P\D, C (Japan); регулювання напруги відбувається завдяки цифровим протоколам, таким як LIN та CAN. Великою перевагою цифрових протоколів над іншими типами є наявність в них можливості передавати в генератор і отримувати з нього різноманітні параметри, такі як максимальний струм, що може видати генератор (наприклад, генератор розрахований на 150 А, але блок керування може обмежити це значення до, наприклад, 100 А), максимальну напругу, напругу, до якої має понизитися вихідна напруга у разі перегріву генератора, є можливість отримати помилки генератора (механічні\електричні\інші), що може значно скоротити час на діагностику генератора.

2.3 Числове керування генераторами змінного струму та контроль

У сучасних генераторах змінного струму, наприклад у тих, що встановлено на різноманітного роду підприємствах або електростанціях, активно використовуються СА з програмним керуванням. Це означає, що генераторна установка може бути підключена до певної мережі підприємства та керуватися видалено. Це дає можливість збирати певні діагностичні дані та автоматично вести звіти тестів або хронологію експлуатації установки. Розглянемо більш детально які саме дані можна отримати від генераторної установки такого типу:

- поточна вихідна напруга (постійна та змінна);
- поточний вихідний струм (постійна та змінна);
- температура внутрішнього середовища генераторної установки (ambient temperature);
- температура обмоток;
- тахометр.

Структура підключення генераторної установки до промислової мережі позначена на рисунку 2.6.

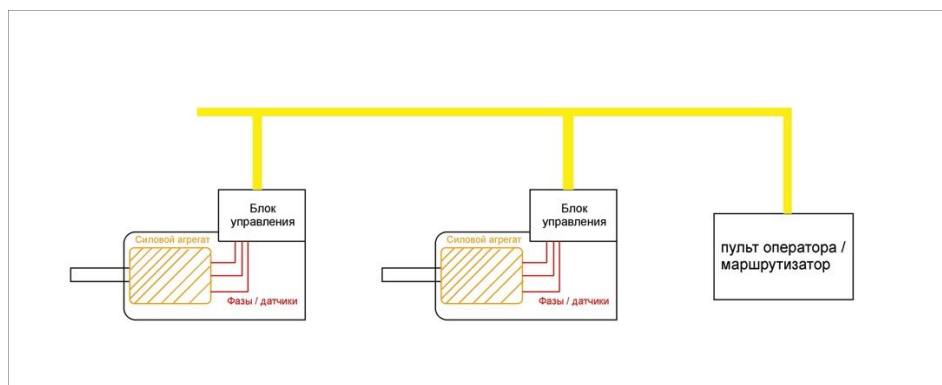


Рисунок 2.6 – Схема підключення генераторних установок до промислової мережі та пульта оператора або маршрутизатора

Параметри генератора, що вимірюються, оброблюються процесорним модулем, що встановлено у блоці керування самого генератора, та передаються до комунікаційної мережі підприємства за певним цифровим протоколом передачі даних.

2.4 Аналіз цифрових протоколів

2.4.1 Шина CAN

Шина CAN (Controller Area Network) – послідовний захищений протокол транспортування даних у реальному часі. Область його застосування варіюється від високошвидкісних мереж до недорогих мультиплексних проводів [16].

Фізично протокол реалізується за допомогою двох ліній: CAN-HI та CAN-LO. Швидкість передачі даних – до 1 Мб\с. Протокол базується на кадрах різного призначення, а саме:

- кадр даних – у цьому кадрі передаються лише дані;
- кадр видаленого запиту – необхідний для запиту на отримання кадру даних з там же ідентифікатором;
- кадр перезавантаження – утримує проміжок між кадрами даних та кадрами запитів;
- кадр помилки – отримується, якщо в одному з вузлів буда знайдена помилка.

Типовий кадр даних продемонстровано на рис. 2.7, детальний опис складових кадру продемонстровано у табл. 2.1.

Продовження таблиці 2.1.

Назва поля	Довжина (біт)	Опис
Контрольна сума	15	Контрольна сума кадра
Розмежувач контрольної суми	1	Має бути рецесивним
Проміжок підтвердження	1	
Розмежувач підтвердження	1	Має бути рецесивним
Кінець кадру	7	Має бути рецесивним

2.4.2 Шина LIN

Шина LIN – це проста однопровідна шина для широкого спектру призначень. Використовується у випадках, коли використання шини CAN занадто дороге. Завдяки шині LIN відбувається керування простими датчиками, приводами, заслінками і т.д. Низька вартість використання шини LIN обумовлена тим, що це програмний протокол (на відміну від шини CAN), що базується на використанні звичайного універсального приємо-передавача (UART \ RS232 \ COM-порт). Швидкість, на якій працює шина LIN стандартна для приладів на базі UART: 2400, 9600 та 19200 бод.

Особливості шини LIN полягають у її архітектурі (рис. 2.8): є два види вузлів – Master – провідний, Slave – ведений. Master має змогу опитувати Slave о його стані, пробуджувати його або відправляти йому команди. Ця архітектура хоча і схожа на архітектуру шини CAN, але все ж має певні відмінності [18].

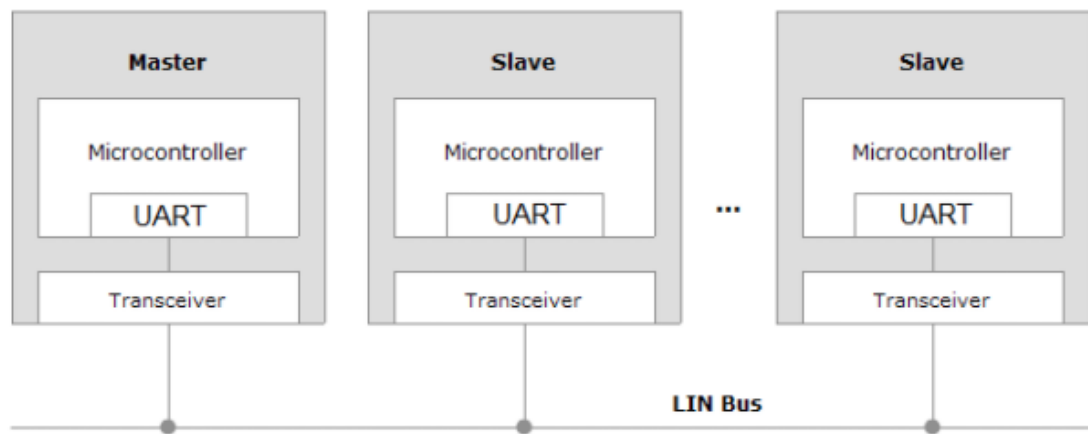


Рисунок 2.8 – Архітектура шини LIN [18]

Структуру LIN пакету зображено на рисунку 2.9.

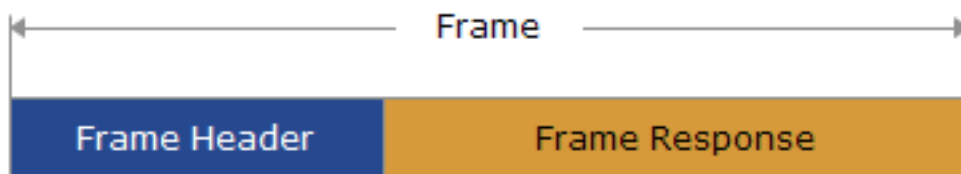


Рисунок 2.9 – Структура пакету (або кадру) шини LIN [18]

Frame header – заголовок пакету, який відправляє в шину Master, включає в себе ID пакету, що позначає, які дані потрібні від Slave.

Frame response – це дані, що відправляє в шину Slave по запиті Master.

Розглянемо структуру кадру LIN більш детально з точки зору електричних сигналів (рис. 2.10).

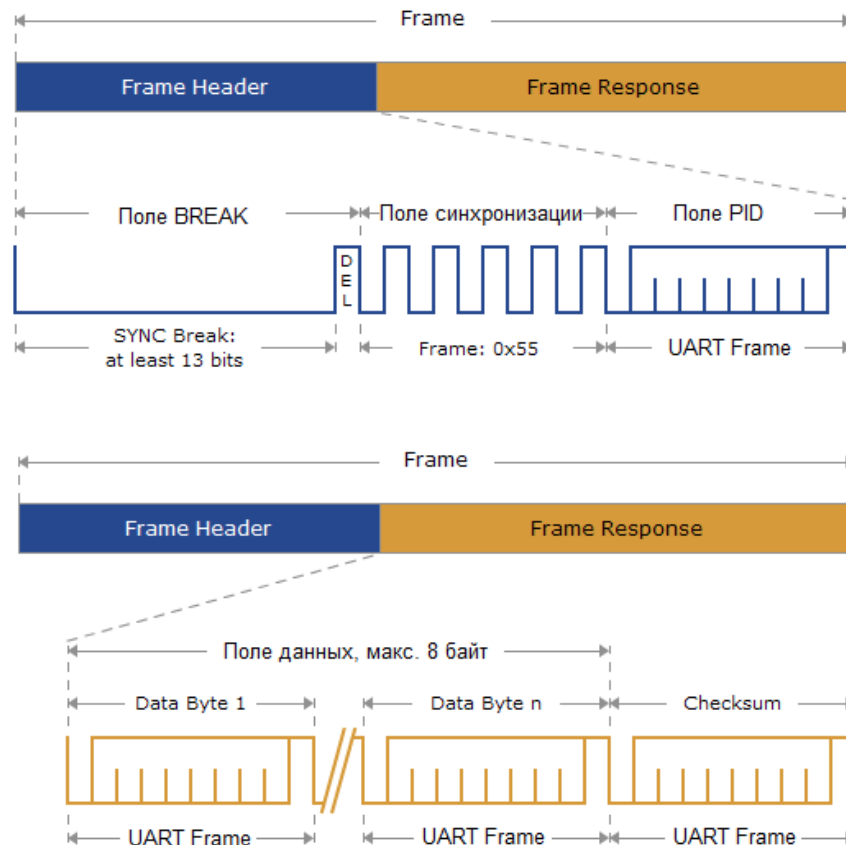


Рисунок 2.10 – Детальна структура пакету LIN [18]

Майстер посилає в шину так званий **BREAK**, це сигнал того, що далі він буде відсилати в шину дані. Далі майстер відправляє поле синхронізації (0x55 у шістнадцятковій системи числення), при його передачі усі приймачі підлаштовують свою швидкість роботи, після цього відправляється **PID** (Protected ID) – захищений ідентифікатор.

Ідентифікатор може приймати значення від 0 до 59 (0x3B у шістнадцятковій системи числення) для призначених для користувача пакетів. Так само можливе використання спеціальних службових пакетів з ID 0x3C, 0x3D, 0x3E і 0x3F. Захищеність ідентифікатора міститься в наступному (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – Структура PID шини LIN [18]

В процесі шифрування ID використовується наступний алгоритм: 5 біт ідентифікатора (ID0 - ID5) об'єднуються з двома контрольними бітами (P0 та P1). Контрольні біти розраховуються наступним чином:

$$P0 = ID0 \oplus ID1 \oplus ID2 \oplus ID4$$

$$P1 = \neg (ID1 \oplus ID3 \oplus ID4 \oplus ID5).$$

У разі неправильного розрахунку PID сторона, що приймає пакет не зреагує на помилковий запит. У разі вірного запиту, приймаюча сторона відправить Frame Response, що складається з байтів відповіді (1 – 8 байт) та одного байту контрольної суми (CRC) – рахується як сума усіх байтів даних у пакеті з переносом (LIN 1.3), або сума байтів даних та PID (LIN 2.0) [18].

2.5 Аналіз основних типів несправностей генераторів змінного струму

Першим та найочевиднішим типом несправності генератора, що характерний для генераторів будь якого типу, є механічна несправність, наприклад, якщо вал генератора пошкоджено, то генератор може заклинити, або можуть пошкодитися інші внутрішні компоненти генератора. Для діагностики такого типу несправності достатньо розкрутити вал генератора приблизно до однієї тисячі оборотів та уважно послухати на наявність аномальних звуків. Якщо присутні звуки, що мають певну періодичність, то це може означати, що ротор генератора не центровано і він торкається статора або не торкається

колекторних щіток. Якщо присутній гучний неприємний звук або свист, це може означати, що підшипники кочення вийшли з ладу та їх треба замінити.

Іншою характерною для будь якого типу генератора є електрична несправність. До таких несправностей відносять обрив або замикання обмоток статора генератора, вихід зі строю випрямляча (діодного моста) та забруднення або замикання токоз'ємних щіток. У разі виникнення електричної несправності пульсації струму та напруги, що генеруються, будуть дуже великими.

Третьою й не найочевиднішою проблемою, що може виникнути в процесі експлуатації генератора – це некоректна робота реле регулятора. Якщо це генератор «лампового» типу то після запуску двигуна індикаторна лампа має згаснути, у всіх інших випадках – необхідно провести діагностику СА автомобіля. Але, якщо це генератор, що регулюється ШІМ сигналом, або має цифровий протокол, то для перевірки реле такого типу знадобиться спеціальне обладнання. Таке обладнання можна придбати у незалежних комерційних організацій, що спеціалізуються на розробці діагностичного обладнання.

Саме дослідженню принципів роботи сучасних генераторів та розробці обладнання, що буде спроможне повноцінно та комплексно продіагностувати їх, присвячена дана магістерська атестаційна робота.

2.6 Висновки по другому розділу

В даному розділі були розглянуті теоретичні відомості та визначення, що стосуються будови та принципу роботи генераторів змінного струму. Були розглянуті різноманітні типи генераторів, їх особливості роботи та області застосування. Були розглянуті принципи та методи числового програмного керування деякими типами генераторів. Також були перераховані основні типи несправностей у генераторах змінного струму.

3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ГЕНЕРАТОРА ЗМІННОГО СТРУМУ

3.1 Визначення базових механічних та електричних несправностей

3.1.1 Перевірка реле регулятора

Для перевірки генератора будь-якого типу необхідно спочатку перевірити справність реле регулятора. Для кожного типу регулятора методи перевірки є різними.

Для багатьох генераторів, що не мають можливості зовнішнього регулювання вихідної напруги достатньо подати електричний струм величиною в 200 мА та напругою 12 В на обмотку збудження. Під час тесту необхідно вимірювати струм та напругу на обмотці збудження, індикацією справної обмотки буде низька напруга (нижче 1 В) та високе значення струму (приблизно 200 мА). У разі, якщо струм занижений (нижче 50 мА), та напруга приблизно дорівнює тій, яку було подано на обмотку – регулятор вважається несправним.



Рисунок 3.1 – Місцезнаходження терміналу обмотки збудження на генераторі [19]

Для реле регуляторів ШІМ-типу знадобиться додаткове обладнання, а саме осцилограф (рис. 3.2) та генератор змінних сигналів (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Генератор змінних сигналів [20]

За допомогою пристрою такого типу можна створити ШІМ сигнал необхідної частоти, необхідного заповнення та напруги. Для кожного окремого підтипу генератора необхідна своя частота сигналу та межі регулювання заповнення. Наприклад, генератор типу SIG (рис. 3.4) працює на частоті 125 Гц.



Рисунок 3.4 – Генератор типу SIG [21]

На рис. 3.5 зображена схема підключення терміналу SIG:

- FR (Field Response) – клемма, з якої осцилографом знімається ШІМ сигнал, що утворюється безпосередньо генератором, тобто це реакція генератора на сигнали керування;
- SIG(GC) – клемма, на яку подається ШІМ сигнал частотою 125 Гц;
- А – клемма, на яку подається напруга збудження.

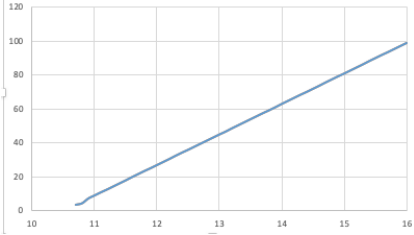
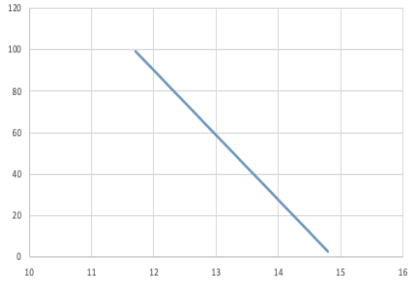
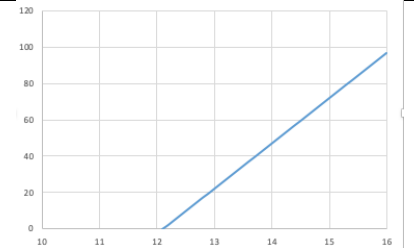
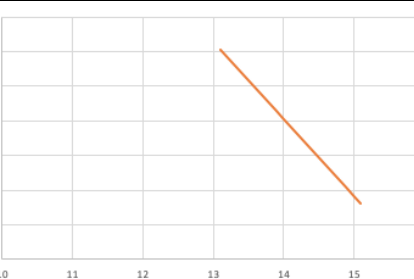


Рисунок 3.5 – Термінал типу SIG [22]

Якщо подати сигнал правильної частоти на клему GC, то регулюючи заповнення чи шпаруватість сигналу можна регулювати напругу, яку генератор утворює. У разі, якщо генератор видає лише максимальну можливу для нього напругу, або взагалі не регулюється – реле регулятор є дефективним.

Для більш комфортного регулювання напруги генераторів певних типів було проведено експерименти з виявлення меж регулювання шпаруватості та заповнення для деяких типів реле регуляторів. В результаті експерименту стало можливим скласти формули залежності заповнення сигналу від бажаної вихідної напруги генератора (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Залежність заповнення ШІМ сигналу керування від бажаної напруги

Термінал	Формула розрахунку заповнення	Зовнішній вигляд залежності
RVC	$(17,991 * voltage) - 188,7$	
RLO	$(-31,168 * voltage) + 464,09$	
SIG	$(24,847 * voltage) - 300,92$	
C KOREA	$(-22,095 * voltage) + 348,5$	

Деякі генератори регулюються саме напругою, тобто, реле-регулятор таких генераторів працює як компаратор, один вхід якого міряє напругу на самому генераторі, а інший вхід міряє напругу регулювання. У результаті змінюючи напругу на одному з входів ми отримуємо регулювання обмотки збудження генератора.

Для перевірки реле регулятора цифрового типу, наприклад LIN чи CAN, необхідне спеціальне обладнання на базі мікропроцесорів, що буде реалізовувати дані протоколи на апаратному рівні. Це може бути як мікропроцесор, що здатен сам зчитувати та передавати подібного роду сигнали, так і зв'язки мікропроцесор – трансівер (передавач).

Даними для генератора можуть бути команди на зміну напруги, перемикання режимів роботи, скидання помилок, що утворюються у процесі роботи, команди на запит певних параметрів та ідентифікаторів, таких як назва виробника, сервісні номери тощо. Проаналізувавши, які саме дані необхідні для конкретного типу генератора необхідно передавати їх з певною періодичністю та обробляти відповіді від генератора. Так як подібного роду протоколи дуже зав'язані на часовій точності відправки та отриманні запитів, то необхідно підбирати мікропроцесори, що будуть обробляти пакети протоколу, за наступними критеріями: швидкість роботи, наявність апаратної реалізації протоколів, низька ціна.

3.1.2 Перевірка електричних характеристик генератора

Після того, як працездатність реле регулятора було підтверджено, необхідно отримати електричні параметри генератора. Ці параметри здатні показати, чи, по-перше, має генератор електричні несправності, що не побачили при візуальному огляді генератора, та, по-друге, наскільки стан генератора відрізняється від заводського, тобто на скільки окремі частини генератора зносилися у процесі роботи.

Експериментальним шляхом було виявлено, що основними параметрами, що потрібно заміряти є:

- швидкість обертання шківу генератора, при якій він починає утворювати струм;
- затримка старту генератора;
- напруга, яку утворює генератор після старту;

– струм, що тече крізь обмотку збудження на холостих обертах генератора (для генераторів, що не регулюються);

– струм, що тече крізь обмотку збудження при електричному навантаженні генератора (для генераторів, що не регулюються);

– потужність холостого ходу – потужності двигуна, що необхідна, щоб розкрутити генератор на холостих обертах (3.1):

$$P_{xx} = U_{dxx} \cdot I_{dxx}, \quad (3.1)$$

де U_{dxx} – напруга електродвигуна на холостому ході;

I_{dxx} – струм електродвигуна на холостому ході;

– потужність при максимальному електричному навантаженні (3.2):

$$P_n = U_{дн} \cdot I_{дн}, \quad (3.2)$$

де $U_{дн}$ – напруга електродвигуна під електричним навантаженням;

$I_{дн}$ – струм електродвигуна під електричним навантаженням;

– вихідна потужність – вираховується як різниця потужності холостого ходу та потужності при максимальному електричному навантаженні (3.3):

$$P_v = P_n - P_{xx}; \quad (3.3)$$

– максимальний постійний струм, що утворюється генератором;

– змінний струм, що утворюється генератором;

– температура генератора.

Розглянемо, на що вказує кожен з вищесказаних параметрів.

Оберти в хвилину, на яких генератор збуджується мають, по-перше, бути сталою величиною, тобто генератор має збуджуватися на однакових обертах за будь яких умов експлуатації, по-друге, не мають бути зависокими, межею норми вважається значення до 3500 обертів за хвилину, якщо генератор збуджується на більших обертах, то це означає, що є електричні перешкоди.

Затримка старту генератора, це параметр, що показує, з якою часовою затримкою генератор починає своє збудження після того, як вийшов на необхідні оберти. Затримка може коливатися від 0 до 10 секунд.

Струм обмотки збудження у двох станах (при роботі на холостих обертах та при електричному навантаженні) показує, чи має основна обмотка генератора який небудь додатковий вплив на обмотку збудження, індикацією працездатності обмотки є рівність струму при холостому ході та під електричним навантаженням.

Для того щоб заміряти вихідну потужність генератора, що є одним з найголовніших його параметрів, необхідно заміряти потужність, що необхідна на розкрутку генератора при холостому ході та під максимальним навантаженням, різницею цих двох параметрів і буде вихідна потужність генератора, таким чином можна буде порівняти це значення з потужністю, яка є паспортною для генератора, що діагностується. Якщо потужність значно менша за паспортне значення, то слід провести механічну діагностику генератора на наявність забруднень, пошкоджень щіток та обмоток.

Максимальний струм необхідний для того, щоб вирахувати значення потужності. Для того, щоб точно виміряти максимальний струм генератора необхідно провести наступну процедуру:

- генератор необхідно розігнати до високих обертів (вище 6000) та поступово та з невеликим шагом навантажувати його електрично;
- в процесі навантажування необхідно постійно слідкувати за вихідною напругою генератора;

– в момент, коли напруга почне падати, необхідно скинути навантаження на декілька пунктів вниз, якщо напруга при цьому перестала падати та тримається постійною, то поточне значення струму генератора можна вважати його максимально можливим.

Змінний струм генератора це параметр, що демонструє пульсацію струму та те, на скільки діодний міст в середині генератора здатна випрямляти струм. Так чи інакше пульсації струму будуть, але їх величина є критичною.

Температуру генератора необхідно заміряти після певного часу роботи при максимальному електричному навантаженні, бо генератор більшу кількість часу буде працювати під температурою, і саме за таких умов є шанс побачити його несправності, які ніяк не проявляють себе при температурах нижче середнього.

3.2 Складання структури модулів системи діагностики

3.2.1 Аналіз необхідних компонентів та складання структури проекту

Система діагностування генераторів змінного струму (далі – стенд), що є безпосередньою метою даної атестаційної роботи є перш за все програмно-апаратним комплексом, тож слід розглянути ці дві складові окремо. Перш за все необхідно розглянути, які саме апаратні можливості необхідно вкласти у систему, що розробляється, які конструкторські рішення будуть надійними, простими і якомога дешевшими. Апаратна блок-схема стенду представлена на рис. 3.6.

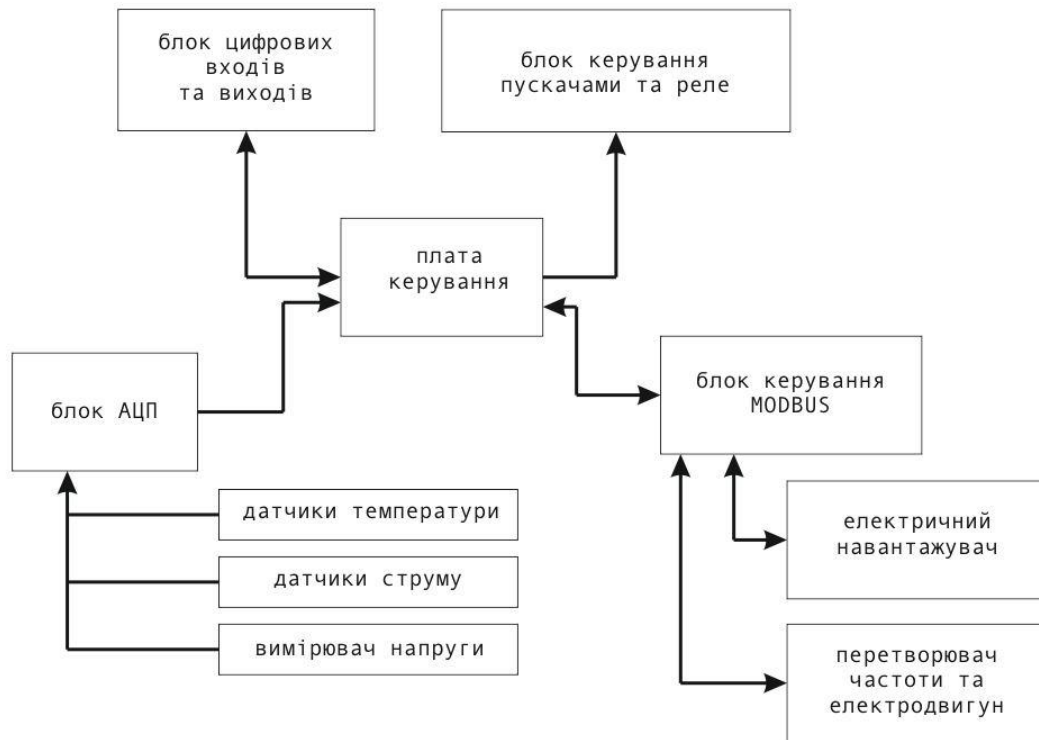


Рисунок 3.6 – Апаратна блок-схема стенду

3.2.1.1 Електродвигун та перетворювач частоти

Хоча генератор змінного струму це пристрій, який служить для перетворення енергії обертання, що утворюється будь-яким зовнішнім джерелом енергії (будь то теплова турбіна, чи дизельний двигун), за винятком електричної, у даному конкретному випадку саме електричне джерело буде найдешевшим рішенням саме для діагностики.

Відштовхуючись від того, що максимальний струм генератора, що буде перевірятися, дорівнює 300 А при 12 В напруги, то необхідно вибрати електродвигун, що буде здатен витримувати подібні навантаження і при цьому не працювати в екстремальному для нього режимі. Для даної системи було обрано двигун АІР112М2У (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Електродвигун марки АІР112М2У [23]

Технічні характеристики даного електродвигуна виглядають наступним чином:

- номінальна потужність – 7,5 кВт;
- фактичні оберти вихідного валу – 2900 об\хв;
- КПД – 87,5 %;
- номінальний струм – 15 А (при напрузі 380 В);
- пусковий струм – 112 А;
- номінальний обертаючий момент – 21,5 Нм;
- максимальний обертаючий момент 73 Нм;
- маса – 51 кг.

Габаритні параметри електродвигуна вказані на рис. 3.8. Вони знадобляться під час проектування корпусу стенду.

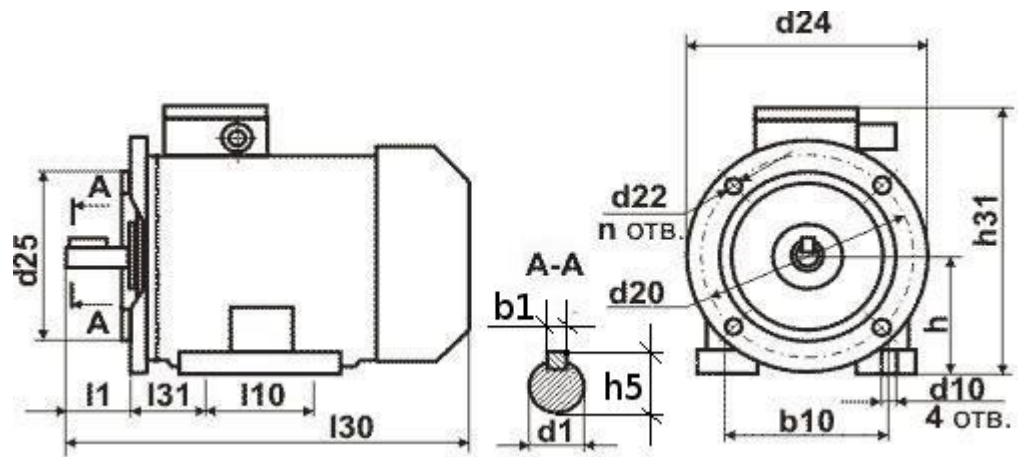


Рисунок 3.8 – Габаритні параметри електродвигуна AIP112M2U [24]

Для керування даним типом електродвигуна необхідно використовувати частотний перетворювач. Частотний перетворювач, або перетворювач частоти – це електротехнічний пристрій (система управління), що використовується для контролю швидкості і/або моменту двигунів змінного струму шляхом зміни частоти і напруги живлення електродвигуна. На даний момент основна частина усієї виробленої електричної енергії в світі використовується для роботи електричних двигунів. Перетворення електричної потужності в механічну потужність здійснюється за допомогою електродвигунів потужністю від менше вата до декількох десятків мегават [25]. Враховуючи характеристики електродвигуна, що було обрано для даного проекту, було підібрано частотний перетворювач VFD110E43A компанії Delta Electronics (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Частотний перетворювач VFD110E43A [26]

Характеристики даного частотного перетворювача наступні:

- клас напруги – 460 В;
- максимальна потужність двигуна – 11 кВт;
- повна потужність – 18,3 кВт;
- номінальний вихідний струм – 24 А;
- вихідна напруга – 3 фази, від 0 до напруги живлення;
- вихідна частота – до 600 Гц;
- несуча частота – 1-15 кГц;
- напруга живлення – 3 фази, 360-480 В ($\pm 10\%$);
- вхідна частота – 50/60 Гц $\pm 5\%$;
- номінальний вхідний струм – 26 А;
- метод охолодження – вентилятор;
- маса – 4,2 кг;
- метод керування – протокол MODBUS, цифровий потенціометр [27].

Для керування даним частотним перетворювачем було обрано саме протокол MODBUS, бо цей протокол найпростіший в експлуатації та реалізації, як програмній так і апаратній.

3.2.1.2 Електричний навантажувач

Електричним навантаженням будь-якого елемента мережі називається потужність, якою навантажено даний елемент мережі. Наприклад, якщо по кабелю передається потужність 120 кВт, то навантаження кабелю дорівнює теж 120 кВт. Точно так само можна говорити про навантаження на шини підстанції або на трансформатор і т. д. Величина і характер електричного навантаження залежать від споживача електричної енергії, який може бути названий приймачем електричної енергії [28].

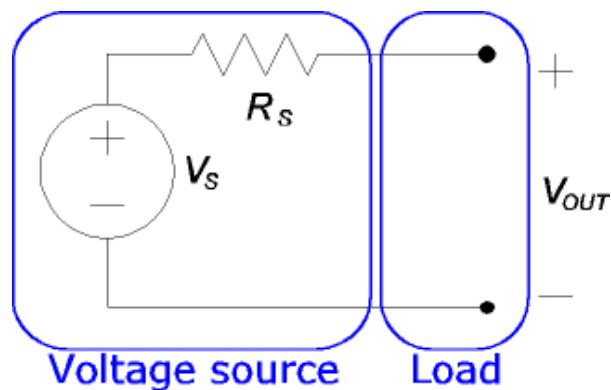


Рисунок 3.10 – Схема активного навантажувача [29]

За типами електричного споживання навантаження бувають:

- активними (або ще відому, як резистивна) – у цьому випадку закон Ома виконується в кожен момент часу і аналогічний закону Ома для схем постійного струму;

- реактивними, що в свою чергу поділяються на: індуктивні – навантаження, через яке струм відстає від напруги по фазі і навантаження споживає реактивну потужність. Приклади: асинхронні двигуни, електромагніти, котушки дроселів, трансформатори, випрямлячі,

перетворювачі побудовані на тиристорах. Індуктивна (реактивна) навантаження перетворює протягом однієї половини напівперіоду енергію електричного струму в магнітне поле, а протягом наступної половини перетворює енергію магнітного поля в електричний струм. При цьому в індуктивному навантаженні крива струму відстає від кривої напруги на ту ж половину напівперіоду. Прикладом для даного виду навантажень може бути дросель або котушка індуктивності; ємнісні – навантаження, що перетворює протягом однієї половини напівперіоду енергію електричного струму в електричне поле, а протягом наступної половини перетворює енергію електричного поля в електричний струм. При цьому в ємнісний навантаженні крива струму випереджає криву напруги на ту ж половину напівперіоду. Прикладом даного виду навантажень може бути конденсатор [30].

Важливим фактором є те, що майже всі споживачі електроенергії представляють із себе активний навантажувач, тобто резистивний. У випадку, коли необхідно лише продіагностувати систему живлення (у даному випадку генератор) можна знехтувати реактивним навантаженням, бо воно майже не впливає на роботу системи. Таким чином в якості активного навантажувача було обрано резистивний навантажувач.

Електричний навантажувач має відповідати наступним вимогам: має мати можливість швидко та точно керувати опором (тобто самим навантажувальним елементом), має мати можливість розсіювання тепла, що буде утворюватися під час роботи, має бути якомога компактнішим.

Розрахуємо, опору якої величини має бути навантажувач, щоб для мережі напругою 14 В отримати 300 А струму. Скористаємося законом Ома для ділянки мережі:

$$R_n = \frac{U_m}{I_m}, \quad (3.4)$$

де R_n – величина опору навантажувача;

I_m – струм мережі;

U_m – напруга мережі.

Отримаємо значення опору:

$$R_n = \frac{14}{300} = 0,0466 \text{ Ом.}$$

Тобто, необхідне значення опору навантажувача має бути 46,6 мОм.
Розрахуємо, яка максимальна потужність виділиться на навантажувачі:

$$P_m = I_m^2 \cdot R_n. \quad (3.5)$$

Отримаємо значення потужності:

$$P_m = 90000 \cdot 0,0466 = 4,2 \text{ кВт.}$$

Це означає, що потрібна система, що буде здатна розсіяти 4,2 кВт тепла.

Враховуючи те, що резистор – це металевий провідник певної довжини, певної площини поперечного перерізу та певного питомого опору, можна зробити висновок, що ним може бути будь що, що відповідає даним умовам. Також, однією з вимог до навантажувача є швидке та точне регулювання вихідного опору.

Проаналізувавши усі вищезазначені вимоги до навантажувача, було прийнято рішення про розробку системи з ніхромових спіралей різного опору та різного типу підключення. Спіралі будуть підключатися до схеми за

допомогою інтелектуальних ключів. Інтелектуальний ключ - це інтегральний компонент, який дозволяє здійснювати комутацію живлення навантаження за допомогою низьковольтного цифрового виходу (наприклад, порту вводу / виводу мікроконтролера) [31]. Саме така реалізація є найефективнішою. Для охолодження системи було обрано вентилятор для серверних рішень AVC DATA1551B4L (рис. 3.11).

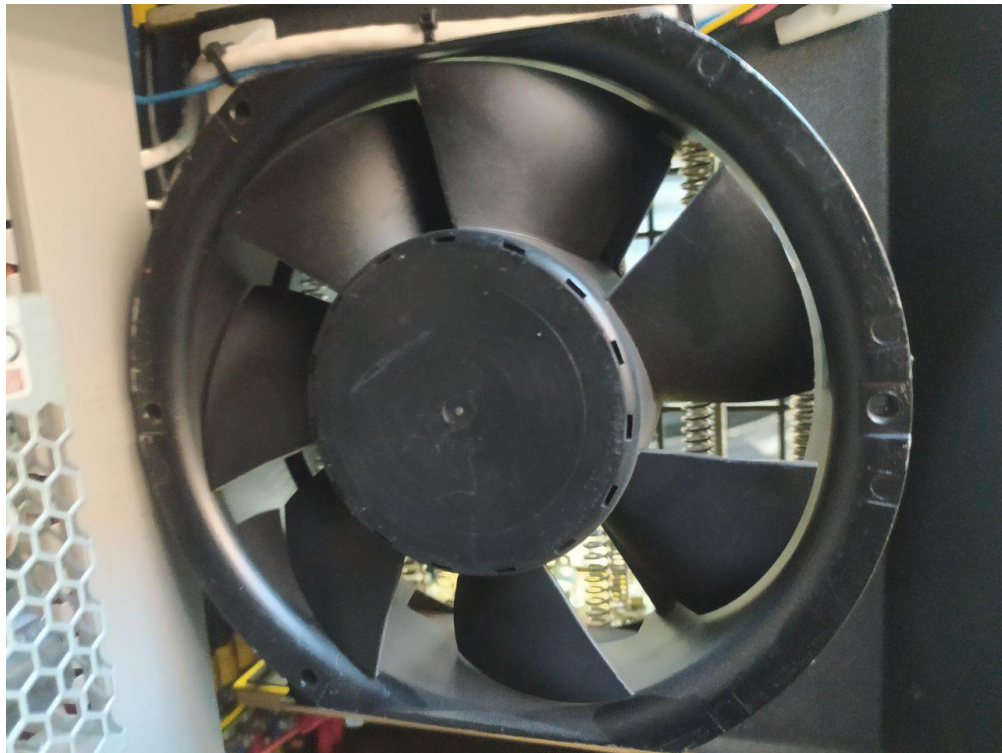


Рисунок 3.11 – Вентилятор для охолодження навантажувача

Так як кожен окремий інтелектуальний ключ буде включати свою окрему спіраль і мінімальний крок регулювання струму має бути приблизно 2 А, то найефективнішою схемою буде підключення 36-ти спіралей різного номіналу: 12 спіралей опором в 7,5 Ом, 12 спіралей опором 2,5 Ом та 12 спіралей опором 0,75 Ом. Для більш компактного розташування спіралей, більш продуктивного охолодження та для запобігання більшого зношення окремих спіралей було

прийняте рішення розділити навантажувач на дві частини по 18 (по 6 спіралей кожного номіналу) спіралей у кожній, тобто отримуємо два окремих навантажувачі по 150 А можливого струму, що підключені послідовно. Така конфігурація дозволить більш ефективно використовувати навантажувачі, зокрема підвищить термін служби спіралей.

Також необхідно оснастити навантажувачи датчиком температури для запобігання їх перегріву.

Керування інтелектуальними ключами, вентилятором охолодження та зчитування показників з датчика температури буде відбуватися за допомогою мікропроцесора Atmega32. Для керування блоками навантаження найефективнішим рішенням буде реалізувати кожен блок як MODBUS Slave, це дозволить просто та швидко задавати необхідні параметри струму, оберти вентилятора та зчитувати температуру кожного з блоків.

Згідно з прийнятими вище рішеннями було складено 3D модель одного блоку навантажувача (рис. 3.12 та рис. 3.13).

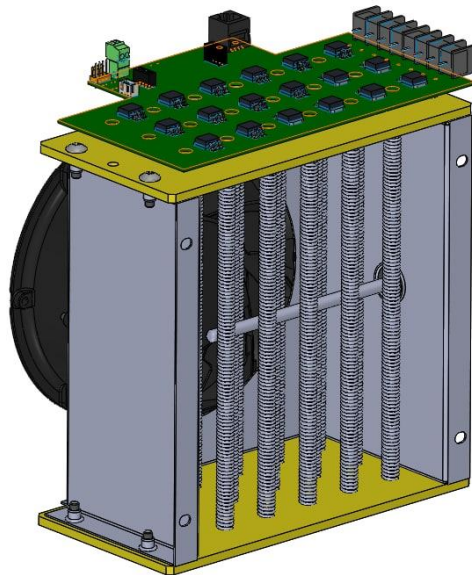


Рисунок 3.12 – Модель навантажувача для стенду
(вид зі сторони спіралей)

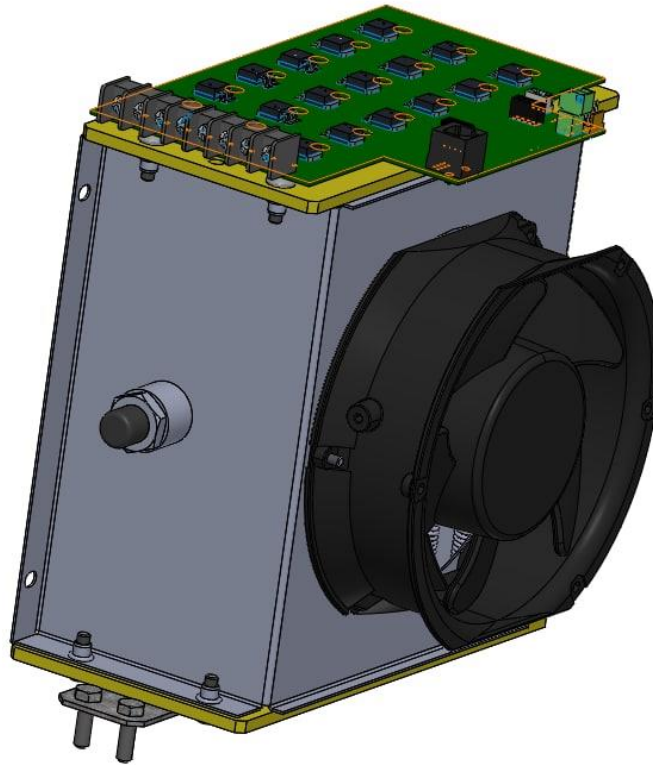


Рисунок 3.13 – Модель навантажувача для стенду
(вид зі сторони вентилятора)

3.2.1.3 Блок керування пускачами та реле

Як видно на схемі, стенд обладнано чотирма пускачами, що будуть комутуватися залежно від напруги мережі.

Електромагнітний пускач – це низьковольтний електромагнітний (електромеханічний) комбінований пристрій розподілу і управління, призначений для пуску і розгону електродвигуна до номінальної швидкості, забезпечення його безперервної роботи, відключення живлення і захисту електродвигуна і підключених ланцюгів від робочих перевантажень. Пускач являє собою контактор, комплектуваний додатковим обладнанням: тепловим реле, додатковою контактною групою або автоматом для пуску електродвигуна, плавкими запобіжниками [32].

Пускачі роблять можливим комутувати генератор з акумуляторними батареями в необхідній послідовності та в разі виникнення аварійних ситуацій

відключати генератор від навантаження. Як можна побачити на схемі контактор KK3 підключає генератор до першої батареї, контактор KK4 підключає генератор до другої батареї, увімкнувши контактори KK2 та KK4 батареї підключаються послідовно, утворюючи мережу у 24 В, у свою чергу контактор KK1 підключає генератор безпосередньо до мережі.

Було обрано модель контактора CHINT NC1-50 (рис. 3.14), максимальною напругою 220 В та максимальним струмом 50 А.



Рисунок 3.14 – Контактор CHINT NC1-50 [33]

Керування контакторами здійснюється за допомогою твердотільних реле моделі MRC 25D61Z24 1NO 1NC (рис. 3.15), що у свою чергу керуються платою керування стендом. Реле монтується на DIN рейку стенду.

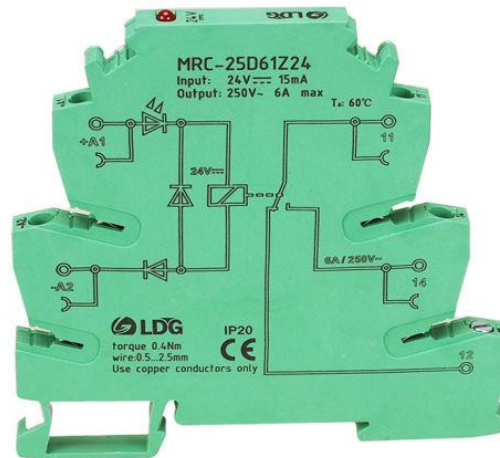


Рисунок 3.15 – Модульне реле керування контакторами [34]

3.2.1.4 Система фіксації генератора у робочій зоні

Під час роботи генератор завжди надійно фіксується за допомогою спеціальних монтажних отворів та болтів (рис. 3.16).

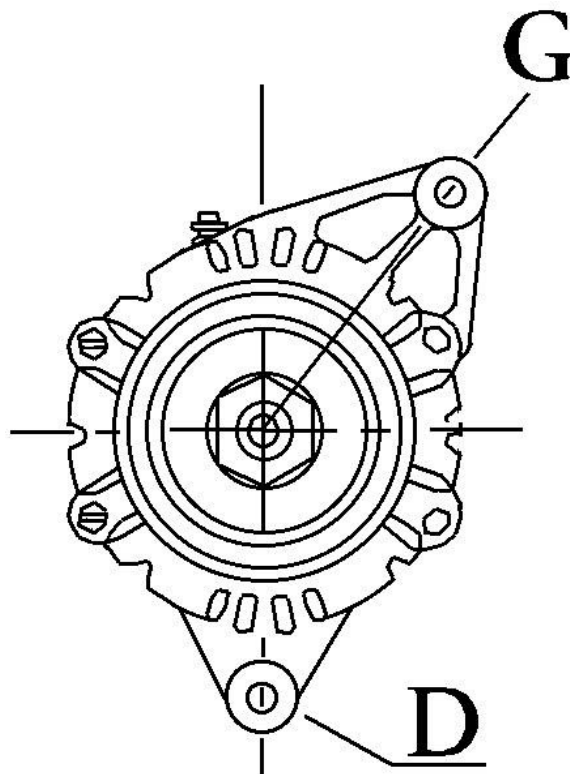
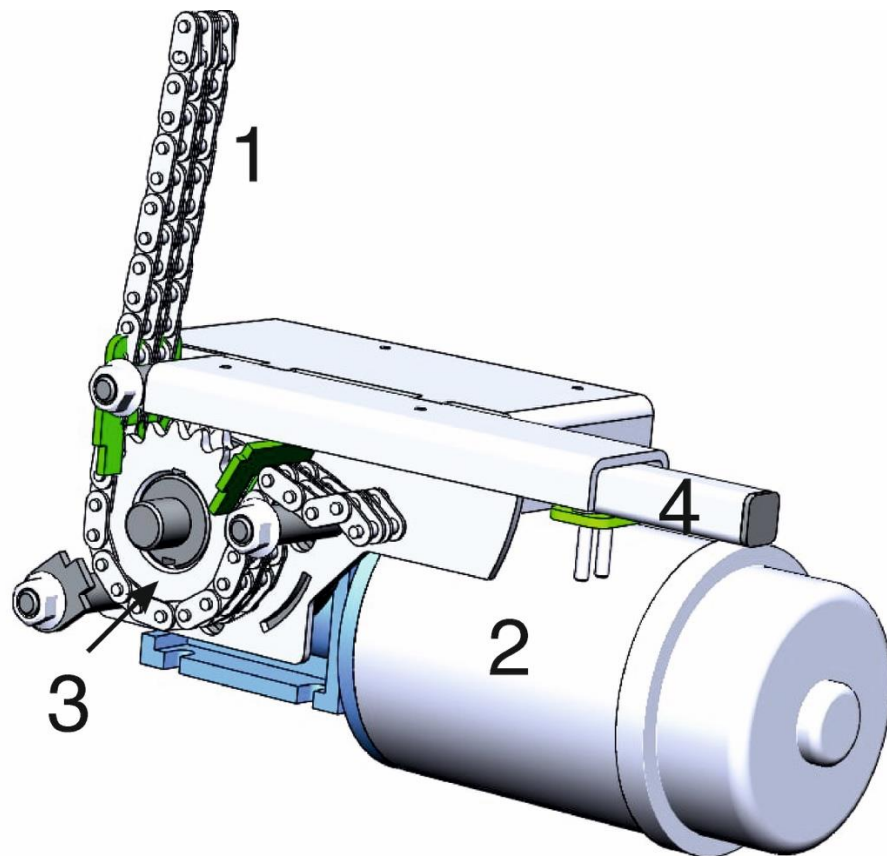


Рисунок 3.16 – Монтажні отвори генератора (G та D) [35]

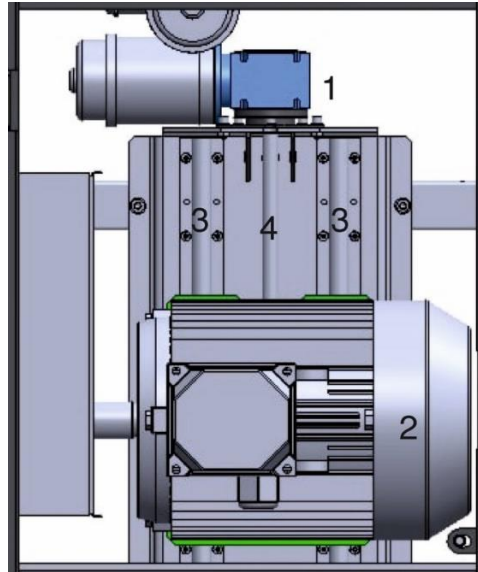
Монтаж, таким чином, є необхідним лише у тому разі, якщо генератор монтується безпосередньо у його власну робочу зону. Монтаж та демонтаж генератора є процесом, що займає тривалий час. У нашому випадку, коли необхідно швидко та постійно змінювати генератори у системі діагностування, такий підхід буде неефективним. Також, важливою вимогою є зберігання надійності монтажу.

Для того, щоб задовольнити обидві ці вимоги була розроблена система монтажу генератора, яка включає у себе фіксацію не тільки самого генератора (рис. 3.17), але й передаточного ременю (рис. 3.18).



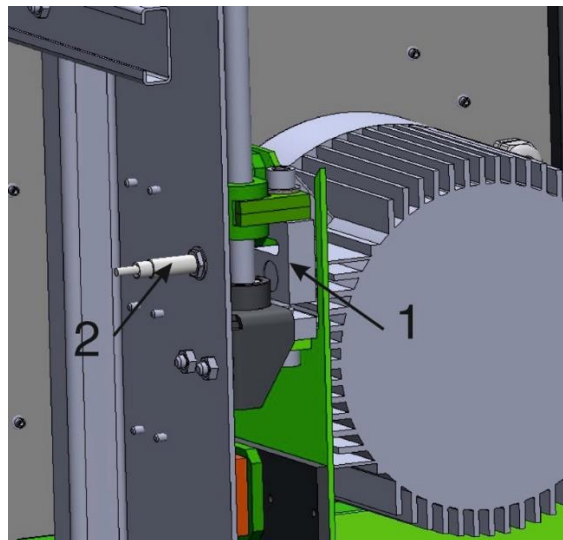
1 – ланцюг, що фіксує генератор; 2 – колекторний мотор; 3 – зубчате колесо; 4 – виступ для кріплення ланцюга

Рисунок 3.17 – Система фіксації генератора



1 – колекторний мотор; 2 – електродвигун для розкрутки генератора; 3 – напрямні для переміщення площадки кріплення електродвигуна; 4 – кульково-гвинтова пара

Рисунок 3.18 – Система фіксації передаточного ременю



1 – тензодатчик; 2 – індуктивний безконтактний кінцевий датчик

Рисунок 3.19 – Система фіксації передаточного ременю

Фіксатор генератора виконаний працює наступним чином: це платформа з пазами, на якій у горизонтальному положенні встановлюється генератор, по пазам пересувається механізм, зображений на рис. 3.17. Ланцюг (1) перекидається через генератор та чіпляється за виступ (4), по натисканню кнопки затягування ланцюга електромотор (2) обертає зубчате колесо (3), таким чином притискаючи ланцюгом генератор до платформи. Ця система також має можливість керування ступенем затягування, що дозволить фіксувати генератори без їх ушкодження. Ступінь затягування визначається максимально допустимим струмом двигуна, що встановлюється у налаштуваннях керуючої програми.

Система натягування передавального ремня, що зображена на рис. 3.18, має більш складну конструкцію. Електродвигун (2), що буде розкручувати генератор, закріплюється у горизонтальному положенні на рухливій платформі, яка з'єднана з напрямними (3) та кулько-гвинтовою передачею (4). Такий самий, як і на системі фіксації генератора, електромотор (1) при обертанні в одну із сторін підіймає чи опускає платформу з електродвигуном (2). Для контролю ступеня натягування у цій системі розташовано тензодатчик (рис. 3.19, 1), що вимірює ступінь навантаження на шків генератора при затягуванні, та 2 індуктивні кінцеві датчики (рис. 3.19, 2), що визначають нижню та верхню межу пересування платформи, для запобігання ушкодження механізму. Шків електродвигуна підтримує два типи ременів – клиноподібний та поліклиновий, це дає можливість швидко перевіряти генератори з різними типами шківів.

3.2.1.5 Плата керування стендом

Перед розробкою плати керування необхідно визначитися, який саме функціонал в неї буде закладено, які датчики та які органи керування будуть підключатися до плати, які цифрові протоколи буде реалізовано.

Плата повинна оброблювати та накопичувати дані з певного набору різноманітних датчиків та передавати дані у керуючу програму, мати

можливість керувати реле, мати реалізацію протоколів LIN, CAN, UART, Ethernet, MODBUS, мати декілька джерел струму для визначення короткого замикання лінії та для перевірки обмотки збудження генератора.

Визначимо, які саме датчики необхідно обробляти:

- чотири зовнішні монітори струму;
- сім каналів для вимірювання напруг;
- два планарних монітора струму.

Необхідно контролювати сервісні двері (3 шт.) та захисну кришку робочої зони, в якості індикаторів можуть бути використані індуктивні датчики наявності металу, також необхідно контролювати стан аварійної кнопки. Для зчитування цих датчиків необхідно використати 5 дискретних входів мікропроцесора.

Окремим модулем слід зробити блок керування шиною MODBUS, що буде контролювати електричний навантажувач та систему фіксації генератора у стенді.

Для того, щоб максимально швидко передавати дані з плати у комп'ютер, на якому буде розгорнута програма керування, було обрано протокол Ethernet TCP-IP, бо він, по-перше, має високу швидкість передачі даних (до 10 МБіт\с), по-друге – він дуже стійкий до зовнішніх випромінювань та електромагнітних перешкод, які будуть утворюватися у процесі діагностики генератора.

В якості центрального мікропроцесора було обрано модель STM32H743 від виробника ST Microelectronics. Вона вже має усі необхідні протоколи комунікації, достатню кількість каналів АЦП для зчитування датчиків та велику швидкість роботи.

В якості процесора для керування шиною MODBUS було обрано більш дешевий мікропроцесор моделі STM32F103. Це одна з найдешевших моделей виробника ST Microelectronics, але вона обладнана протоколом UART, набором дискретних входів та виходів та декількома каналами АЦП, швидкості та точності яких вистачатиме для керування робочими органами.

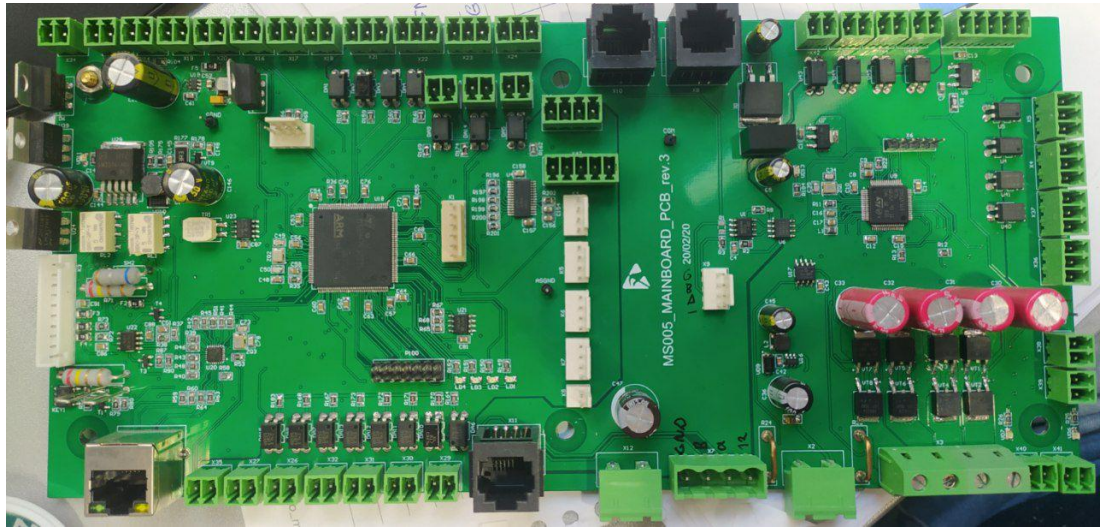


Рисунок 3.20 – Плата керування стендом

3.2.1.6 Комп'ютер для керування системами стенду

Існує багато можливих рішень, який саме комп'ютер використати у даному проекті, починаючи від незалежного видаленого персонального комп'ютера, що буде розташовано, наприклад, у центрі керування, до вбудованого комп'ютерного рішення. Враховуючи те, що стенд має мати оператора керування, що має слідкувати за ходом діагностики, та те, що скоріш за все стенд буде розташований у промисловій зоні з великою вірогідністю агресивних навколишніх умов (фрагменти пилу, підвищені температури тощо), в якості рішення було обрано панельний сенсорний комп'ютер PPC-F12B-VT (рис. 3.21) компанії ІЕІ.

- робочій температурний діапазон – від -10 °С до +50 °С;
- клас захисту від вологи IP 65;
- метод кріплення – VESA 100 мм на 100 мм;
- споживана потужність – 40 Вт [36].

3.3 Розробка програми керування

В якості операційної системи, в якій буде запущено програму керування стендом було обрано операційну систему Windows 7. В якості мови програмування, якою буде написана програма керування було обрано мову С#, в якості технології графічного інтерфейсу було обрано Windows Presentation Foundation (WPF). Враховуючи також те, що, програма буде збільшувати свій функціонал, слід передбачити певну кодову архітектуру. В якості архітектури програми було обрано шаблон Model – View – View Model (MVVM).

Model – View – View Model – архітектурний шаблон прикладок, що розділює бізнес-логіку прикладки від її графічної складової, таким чином з'являється можливість розробляти графічний інтерфейс окремо від логіки. Такий підхід також дає можливість вносити правки в існуючу логіку без правок інтерфейсу. Код розділяється на три складові:

- Model – основна логіка роботи програми, у моделі зберігаються та обробляються усі дані програми, виконуються обчислення тощо;
- View – графічний інтерфейс програми;
- View Model – посередник між Model та View. Його задача - це сповіщення моделі про зміни у інтерфейсі і навпаки, давати команду інтерфейсу на зміну у разі виявлення змін у моделі.

Для того, щоб почати розробку, необхідно визначитись, яку саме логіку буде закладено у програму.

3.3.1 Комунікація з платою керування

Перш за все необхідно побудувати систему комунікації програми з платою керування. Як вже було сказано вище, в якості інтерфейсу для з'єднання було обрано TCP/IP. TCP/IP – це стек технологій, що необхідні для доставки повідомлень від відправника до отримувача. Має чотири рівні роботи:

- прикладний рівень (Application Layer) – на ньому визначається, які дані і як мають бути надіслані (FTP, HTTP, DNS);
- транспортний рівень (Transport Layer) – на цьому рівні визначаються протоколи транспортування даних між вузлами (UDP, TCP);
- мережевий рівень (Internet Layer) – визначає протоколи, що будуть узгоджувати роботи між різними архітектурами;
- рівень доступу до мережі (Network Access Layer) – рівень, на якому визначається фізичний спосіб доставки повідомлення (Ethernet, IEEE 802.11 WLAN, SLIP, ATM).

У даному конкретному проєкті ми будемо працювати на прикладному та транспортному рівнях.

У мові C# вже закладено можливість утворення з'єднання по TCP/IP. Для цього існує інструмент System.Net.Sockets. Сокет – це програмний об'єкт, що представляє із себе точку з'єднання між двома передавачами або приймачами. Мова C# також має велику кількість інструментів, що дозволяють керувати сокетами. Код для відкриття з'єднання показано на рис. 3.22.

```

public bool Connect(string ip_addr, int port)
{
    // Connect to a remote device.

    IPAddress ipAddress = IPAddress.Parse(ip_addr);
    bool isconnected = false;
    IPEndPoint remoteEP = new IPEndPoint(ipAddress, port);

    // Create a TCP/IP socket.
    Socksender = new Socket(ipAddress.AddressFamily, SocketType.Stream, ProtocolType.Tcp);
    Socksender.ReceiveTimeout = 5000;

    // Connect the socket to the remote endpoint. Catch any errors.
    try
    {
        Socksender.Connect(remoteEP);
    }
    catch (ArgumentNullException ane)
    {
        Console.WriteLine("ArgumentNullException : {0}", ane.ToString());
        //logger.Error(string.Format("ArgumentNullException : {0}", ane.ToString()));
        isconnected = false;
    }
    catch (SocketException se)
    {
        Console.WriteLine("SocketException : {0}", se.ToString());
        //logger.Error(string.Format("SocketException : {0}", se.ToString()));
        isconnected = false;
    }
}

```

Рисунок 3.22 – Відкриття з'єднання та обробка можливих помилок

Ця функція приймає два параметри – IP адресу та порт. `IPAddress` це певний клас-обгортка, що тримає у собі IP адресу, до якої необхідно підключитися. `IPEndPoint` – це клас, що утворює кінцеву точку з'єднання. `Socksender` – це об'єкт типу `Socket`, що приймає у якості параметра сімейство адресів, отримане від IP адресу, тип сокету (у даному випадку це `Stream`), та тип підключення, який потребує транспортний рівень (у даному випадку це `TCP`). Для утворення з'єднання викликається функція `Socksender.Connect`, що приймає лише об'єкт IP адресу. Далі, для обробки помилок, що можуть утворитися під час з'єднання, добавлено блок `try-catch`. Також додано таймаут підключення у розмірі п'яти секунд.

3.3.2 Визначення структури даних, що передаються, та їх обробка

Після того, як зв'язок з платою керування утворено, необхідно розібрати, які саме дані плата передає в програму, і які дані програма має передавати у плату, необхідно визначити їх обсяг та структуру.

Плата керування має 3 АЦП з різною кількістю каналів – по 4 канали на двох АЦП та 10 каналів на третьому АЦП. Для того, щоб встигати вимірювати та передавати дані, було обрано сумарний розмір даних 12 кілобайт, по 4 кілобайта на АЦП. Кількість даних на канал визначається як сумарний обсяг даних на АЦП, поділений на кількість каналів цього АЦП. Тобто, для перших двох АЦП масив для одного каналу даних буде займати 1 кілобайт, а для третього – 400 байт.

Також, слід зазначити, що протокол ТСР передбачає наявність у кожному пакеті даних заголовка, що єсе в собі дані про цей пакет. Розмір такого пакета, у даному випадку – 288 байт.

Таким чином ми отримуємо сумарну кількість даних, що необхідно доставити з плати у програму – 12288 байт. Для більш комфортної та швидкої доставки протокол ТСР розділяє великі, як у даному випадку, пакети на блоки. Для даного пакета було обрано розділяти його на 48 блоків по 256 байт.

Для того, щоб здійснювати асинхронні операції у більшості мов програмування, у тому числі у С#, застосовують потоки. Потік – це інструмент, що дозволяє виконувати певний набір дій паралельно одна одній. Реалізуємо три потоки, перший (рис. 3.23) буде приймати дані та класти їх у чергу обробки, другий (рис. 3.24) буде відправляти повідомлення а третій (рис. 3.25) буде обробляти чергу вхідних повідомлень. Такий підхід дозволить уникнути ситуацій, коли, комп'ютер затримується на обробці певного повідомлення, а ті повідомлення, що продовжують надходити, пропускаються.

```

while (true)
{
    bytesRec = 0;
    try
    {
        bytesRec = Socksender.Receive(bytes);

        if ((dstOffset + bytesRec) >= RxMsgSize)
        {
            Buffer.BlockCopy(bytes, 0, EthBuffer, dstOffset, RxMsgSize - dstOffset);

            lock (EthQueueLock) { EthDataQueue.Enqueue((byte[])EthBuffer.Clone()); }

            int leftBytes = bytesRec - (RxMsgSize - dstOffset);

            Buffer.BlockCopy(bytes, RxMsgSize - dstOffset, EthBuffer, 0, leftBytes);
            dstOffset = leftBytes;
        }
        else
        {
            Buffer.BlockCopy(bytes, 0, EthBuffer, dstOffset, bytesRec);
            dstOffset += bytesRec;
        }
    }
}

```

Рисунок 3.23 – Потік прийому даних

```

while (true)
{
    bytesRec = 0;
    try
    {
        bytesRec = Socksender.Receive(bytes);

        if ((dstOffset + bytesRec) >= RxMsgSize)
        {
            Buffer.BlockCopy(bytes, 0, EthBuffer, dstOffset, RxMsgSize - dstOffset);

            lock (EthQueueLock) { EthDataQueue.Enqueue((byte[])EthBuffer.Clone()); }

            int leftBytes = bytesRec - (RxMsgSize - dstOffset);

            Buffer.BlockCopy(bytes, RxMsgSize - dstOffset, EthBuffer, 0, leftBytes);
            dstOffset = leftBytes;
        }
        else
        {
            Buffer.BlockCopy(bytes, 0, EthBuffer, dstOffset, bytesRec);
            dstOffset += bytesRec;
        }
    }
}

```

Рисунок 3.24 – Потік відправки даних

```

while (true)
{
    if (EthDataQueue.Count > 0)
    {
        byte[] data = null;
        lock (EthQueueLock)
        {
            int cnt = EthDataQueue.Count;
            CountChanged?.Invoke(EthDataQueue.Count);
            if (EthDataQueue.Count > 0) { data = EthDataQueue.Dequeue(); }
            if (cnt > 100) { EthDataQueue.Clear(); }
        }

        if (data != null)
        {
            EthDataReceived?.Invoke(data);
        }
    }
    else { Thread.Sleep(1); }
}

```

Рисунок 3.25 – Потік обробки черги

Дані вимірювань надходять у програму у вигляді напруги АЦП, для того, щоб перевести ці значення у потрібну величину (напругу\струм) було прийнято рішення скласти систему лінійних рівнянь, яка вирішується кожен раз, коли дані надходять у програму. Для кожного окремого вимірювання рівняння буде мати свій власний вигляд. Загальний вигляд лінійного рівняння наступний:

$$A \cdot x + B \cdot y + C = 0. \quad (4.1)$$

Ідея полягає у наступному: для калібрування необхідні дві точки, у формулі 4.1 це x – напруга на АЦП, та y – значення, що потребує калібрування; A , B , C – коефіцієнти рівняння. Для того, щоб знайти ці три коефіцієнти необхідно вирішити систему рівнянь по двом точкам, що має наступний вигляд:

$$\begin{cases} A \cdot x_1 + B \cdot y_1 + C = 0 \\ A \cdot x_2 + B \cdot y_2 + C = 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

де x_1 – напруга АЦП першої точки;
 x_2 – АЦП напруга другої точки;
 y_1 – значення величини, що калібрується, для першої точки;
 y_2 – значення величини, що калібрується, для другої точки.

Для більш зручного калібрування параметрів у програмі передбачене спеціальне сервісне меню (рис. 3.26), де відображені значення усіх параметрів, що вимірюються у напрузі АЦП та після калібрування у необхідній величині. Меню також передбачає можливість зберегти параметри калібрування у окремий файл, та, наприклад, перенести на інший стенд.



Рисунок 3.26 – Сервісне меню для калібрування вимірюваних параметрів

3.3.3 Розробка системи керування електродвигуном, навантаженням та системою фіксації

Як вже було сказано, електродвигун, навантажувач та система фіксації представляють із себе пристрої MODBUS Slave, програма керування виступає в якості MODBUS Master.

MODBUS – програмний промисловий протокол керування робочими органами, фізично протокол реалізовано на базі інтерфейсу UART. Принцип роботи MODBUS полягає у зчитуванні чи записі керуючим пристроєм (Master) даних у реєстри пристроїв, що керуються (Slave). Таким чином окремі органи керування можуть накопичувати у собі певні дані, передавати їх пристрою керування за необхідністю та обробляти вхідні команди.

Для того, щоб Master міг ідентифікувати окремі органи для передачі ним необхідних команд у MODBUS передбачено систему адресації, тобто кожен окремий пристрій має мати свою адресу у вигляді цілого невід’ємного числа до значення 255, за якою він і ідентифікується.

У випадку даної атестаційної роботи була обрана наступна адресація пристроїв: 20 – перший навантажувач, 21 – другий навантажувач, 22 – система фіксації генератора, 81 – перетворювач частоти.

Кожен з цих пристроїв має виконувати певні функції та передавати певні дані (табл. 4.1).

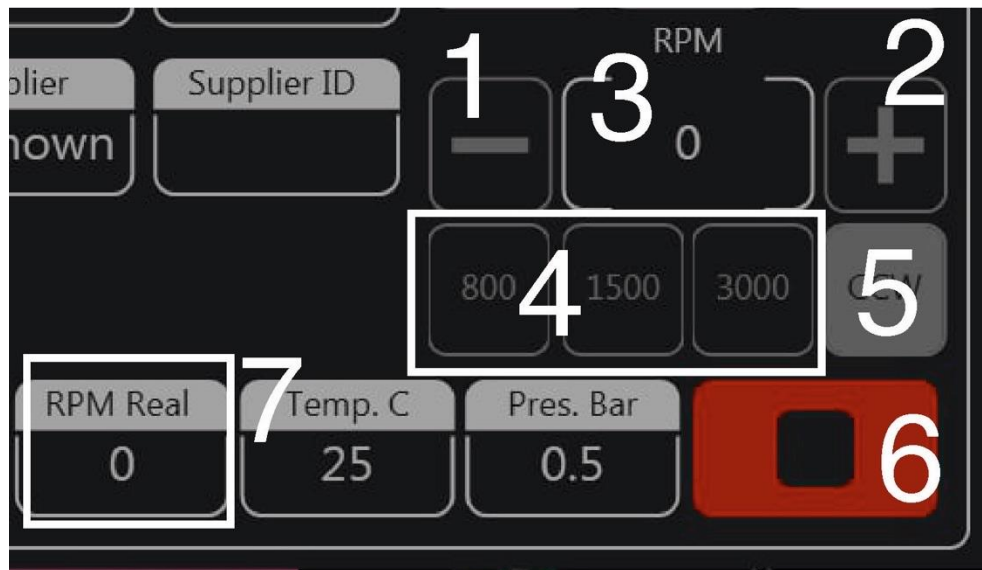
Таблиця 4.1 – функції пристроїв MODBUS

Пристрій	Функції, що виконує	Дані, що передає
Навантажувач	Вмикає необхідний набір спіралей для регулювання власного опору, керує вентилятором	Температура спіралей, поточні оберти вентилятора

Продовження таблиці 4.1.

Пристрій	Функції, що виконує	Дані, що передає
Система фіксації	Керує напрямком руху обох двигунів	Стан кінцевих датчиків, поточний стан системи фіксації та системи натягування, помилки, дані тензодатчика
Перетворювач частоти	Задає оберти та напрям для електродвигуна, що розкручує генератор	Поточні оберти, напрямок руху, поточні помилки, власні сервісні дані.

Для ручного керування електродвигуном було реалізовано спеціальну панель, на якій розташовані кнопки поступового додавання та зменшення швидкості, поміж яких розташовано поле з поточним значенням обертів, що були задані, кнопки для розгону до 800, 1500 та 3000 обертів, кнопка зупинення та кнопка зміни напрямку обертання. Окремим полем виділено поле поточних обертів, що зчитуються безпосередньо з перетворювача частоти. Панель показана на рис. 3.27.

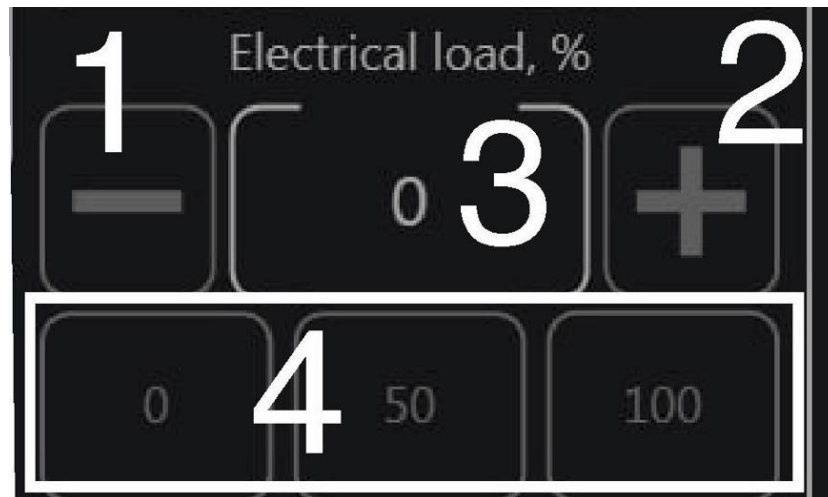


1 – кнопка зменшення швидкості, 2 – кнопка збільшення швидкості, 3 – поточні задані оберти, 4 – кнопки швидкого розгону, 5 – кнопка зміни напрямку обертання, 6 – кнопка зупинки тесту, 7 – поточні реальні оберти

Рисунок 3.27 – Панель керування електродвигуном

Для ручного керування системою навантаження так само була розроблена панель керування, що має кнопки збільшення та зменшення навантаження, поміж яких розташовано поле з поточним виставленим значенням навантаження, кнопки 0 %, 50 % та 100 %, для швидкого додавання або зменшення навантаження. Панель показана на рис. 3.28.

Важливо також відмітити, що для захисту генератора та системи навантаження від включення у статичному положенні (тобто коли генератор не обертається) передбачено систему захисту, що не дозволяє увімкнути навантажувач, поки генератор не буде розігнано до 400 обертів.



1 – кнопка зменшення навантаження, 2 – кнопка збільшення навантаження, 3 – поточне значення навантаження (у відсотках), 4 – кнопки швидкого виставлення навантаження

Рисунок 3.28 – Панель керування навантаженням

Для керування системами фіксації була розроблена інша панель керування, що включає кнопку затягування, кнопку відпускання та поточний стан пристрою (рис. 3.29). Поточний стан визначається наступними пунктами:

- зупинка по команді (з програми чи пульта керування);
- зупинка по таймауту;
- зупинка через перевищення струму двигуна;
- зупинка через перевищення значення тензодатчика;
- зупинка через спрацьовування кінцевих датчиків.



1 – кнопка відпускання ланцюга, 2 – кнопка затягування ланцюга, 3 – кнопка відпускання ременя, 4 – кнопка затягування ременя, 5 – поточний стан системи затягування ланцюга, 6 – поточний стан системи затягування ременя

Рисунок 3.29 – Панель керування системою натягування

Щоб розкрити максимальну гнучкість системи навантаження було додано сервісне меню, що відображає та дозволяє регулювати усі параметри, які можна задати для системи фіксації ланцюга та системи натягування ременя. Це меню включає в себе можливість регулювання струму при руху в обидві сторони, часу, який буде працювати електродвигун після перевищення струму, максимальну напругу двигуна, час руху в обидві сторони, час плавного старту двигуна, параметри тензодатчика, вимкнення чи увімкнення зовнішніх кнопок (для запобігання випадкового відпускання ланцюга чи ременя під час роботи). Також є можливість встановити параметри по замовченню та зберегти поточні параметри, що будуть виставлятися при кожному запуску програми.

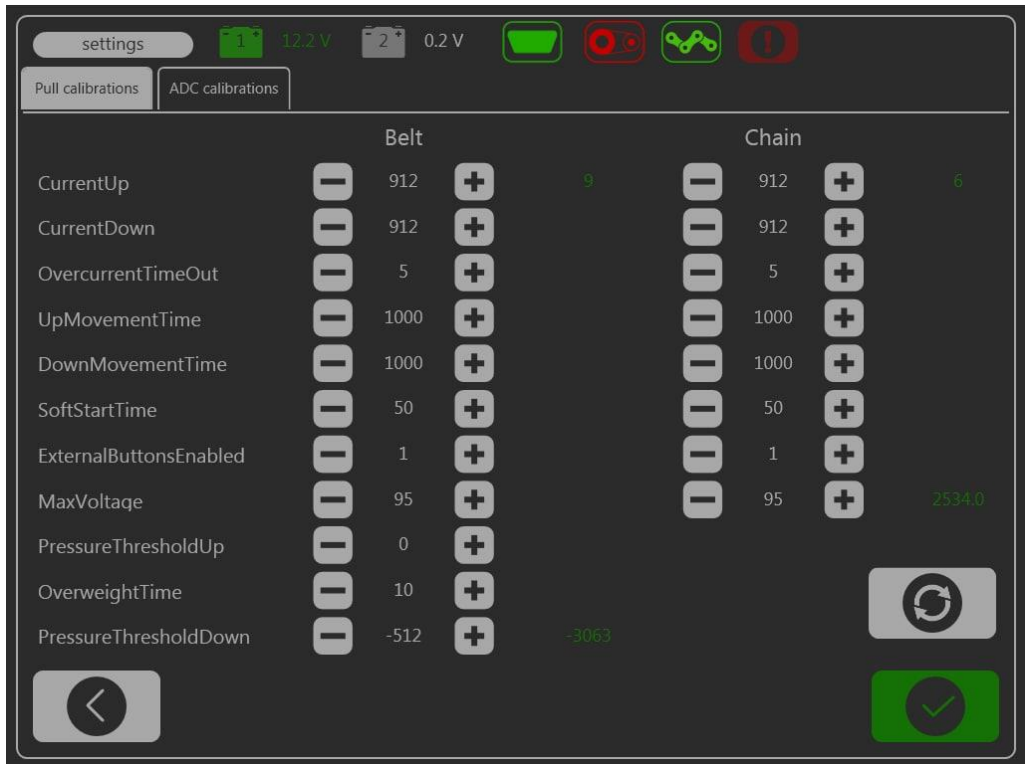


Рисунок 3.30 – Сервісне меню налаштування систем фіксації

4 ТЕСТУВАННЯ СИТЕМИ ДІАГНОСТИКИ

Зібравши фізичну частину стенду та розробивши програмне забезпечення для керування ним необхідно перевірити, по-перше – працездатність самої системи, по-друге – розроблену гіпотезу діагностування генератора змінного струму. Для перевірки гіпотези необхідно перевірити генератори декількох типів: генератори, що не регулюються, генератори з керуванням ШІМ-сигналами та генератор з цифровим інтерфейсом керування.

Для повної перевірки системи діагностування необхідно перевірити наступні складові:

- працездатність системи комунікації плати керування та програмного забезпечення;
- працездатність системи фіксації генератора ти системи натягування передавального ременя;
- працездатність системи керування електродвигуна, що буде розкручувати генератор;
- працездатність системи вимірювання усіх показників;
- працездатність системи комутації;
- працездатність системи електричного навантаження генератора;
- працездатність систем керування збудженням генератора.

4.1 Перевірка системи комунікації плати керування та програмного забезпечення

Перед тим, як тестувати програмне забезпечення необхідно провести первинну діагностику комунікації. Враховуючи те, що плата керування з'єднана з програмним забезпеченням через протокол TCP/IP, то для первинної перевірки достатньо відправити декілька разів команду ping на IP адресу 192.168.137.83, бо плата керування знаходиться саме за цією адресою. Ця

команда вже є частиною операційної системи Windows та викликається за допомогою стандартної консолі CMD. Результат роботи команди ping показано на рис. 4.1.

```
C:\Users\MS005>ping 192.168.137.83
Обмен пакетами с 192.168.137.83 по 32 байтами данных:
Ответ от 192.168.137.83: число байт=32 время<1мс TTL=255
Ответ от 192.168.137.83: число байт=32 время<1мс TTL=255
Ответ от 192.168.137.83: число байт=32 время<1мс TTL=255
Ответ от 192.168.137.83: число байт=32 время<1мс TTL=255

Статистика Ping для 192.168.137.83:
  Пакетов: отправлено = 4, получено = 4, потеряно = 0
  (0% потерь)
Приблизительное время приема-передачи в мс:
  Минимальное = 0мсек, Максимальное = 0 мсек, Среднее = 0 мсек
```

Рисунок 4.1 – Результат работы команды ping

Ця перевірка демонструє, що плата керування підключена до тієї ж мережі, що й комп'ютер стенду та те, що з нею є зв'язок. Це означає, що з платою можна встановити контакт з програми.

Перевіривши зв'язок з платою керування, можна запускати програмне забезпечення та перевірити, чи коректно відображаються дані АЦП, саме це буде ідентифікатором того, що пакети від плати керування надходять та правильно обробляються. Для перевірки цього у програмному забезпеченні передбачене сервісне меню, у якому показана напруга на АЦП та відкалібровані параметри. Результат перевірки показано на рис. 4.2.

Channel	Value	Status
B+ I	0.027	1.65548
B+ U	1.522	1.60902
K50 I	3.417	1.64973
K50 U	-0.119	0.05029
ACB1 U	12.300	1.12404
ACB1 I	-0.017	1.65728
ACB2 U	0.200	1.64735
ACB2 I	-0.033	1.65976

Рисунок 4.2 – Зчитані та відкалібровані параметри

Як можна побачити на рис. 4.2 дані дійсно зчитуються та змінюються. Це говорить про те, що потоки читання та обробки черги працюють коректно.

4.2 Перевірка працездатності системи фіксації генератора та системи натягування передавального ременю

Для перевірки системи встановимо генератор у стенд та зафіксуємо його ланцюгом та зтягнемо за допомогою зовнішніх фізичних кнопок чи за допомогою кнопок у програмі. На рис. 4.3 показано ланцюг до зтягування, на рис. 4.4 показано ланцюг у стані фіксації. Ступінь натягування виставлено у сервісному меню програмного забезпечення (рис. 4.5).



Рисунок 4.3 – Генератор та ланцюг фіксації у незакріпленому положенні



Рисунок 4.4 – Генератор та ланцюг фіксації у закріпленому положенні

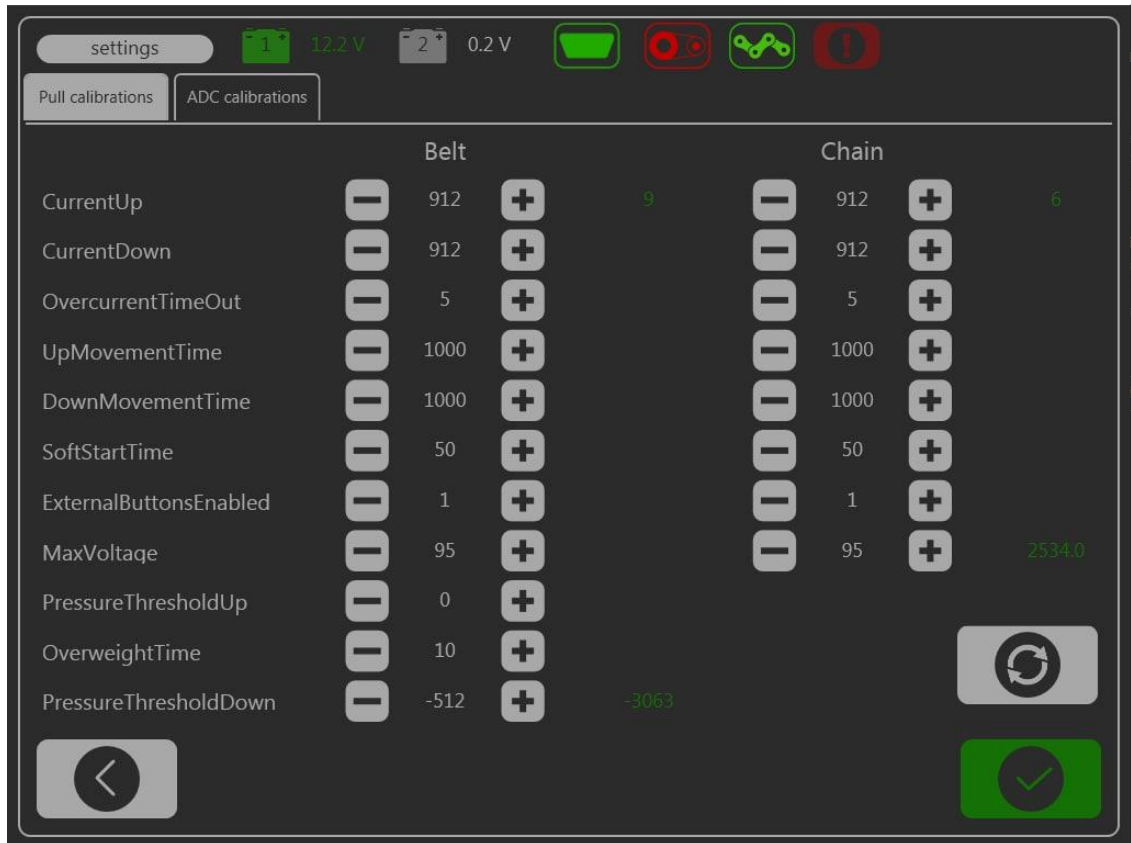


Рисунок 4.5 – Меню керування ступенями натягування ременя (зліва) та ланцюга (справа)

На рисунку 4.5 параметри CurrentUp та CurrentDown є основними і відповідають за максимальний струм двигунів при русі вгору та вниз. Для обох пристроїв виставлено значення 912 одиниць АЦП з 1024 можливих для більш надійної фіксації.

Таким самим чином перевіримо систему натягування передавального ременя. Зафіксуємо ремінь на штоку електродвигуна та на штоку генератора. Положення ременя у незакріпленому положенні показано на рис. 4.6, положення ременю у закріпленому положенні показано на рис. 4.7. Ступінь натягування та інші параметри задаємо у сервісному меню (рис. 4.5).



Рисунок 4.6 – Передавальний ремінь у незакріпленому положенні



Рисунок 4.7 – Передавальний ремінь у закріпленому положенні

Як можна побачити на зображеннях, обидві системи працездатні та надійно фіксують генератор на платформі стенду.

4.3 Перевірка системи керування електродвигуном

Для того, щоб перевірити систему керування електродвигуном достатньо зайти у програмне забезпечення та виставити будь яке значення обертів та порівняти його зі значенням у полі RPM Real, що демонструє реальні оберти електродвигуна, зчитані по протоколу MODBUS (рис. 4.8).

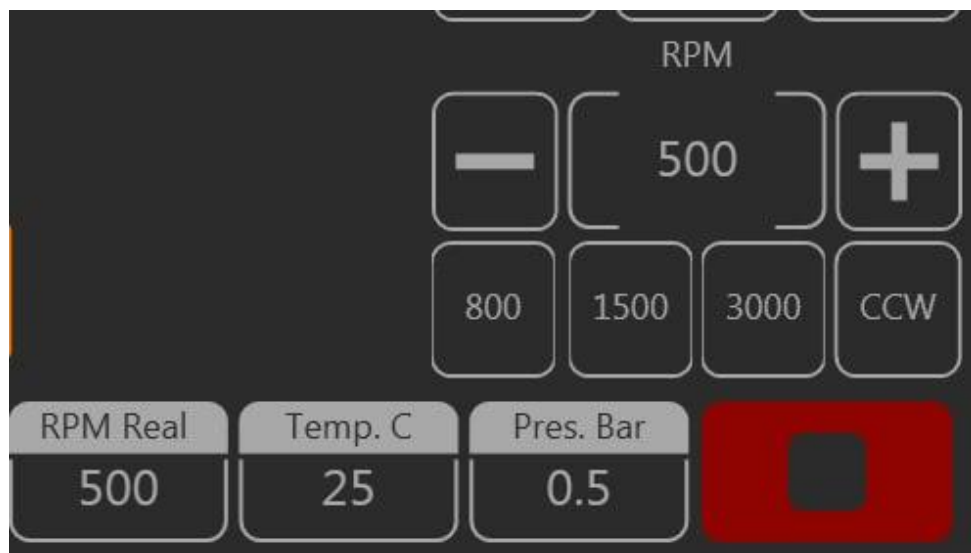


Рисунок 4.8 – Виставлене значення обертів у розмірі 500 об/хв у порівнянні зі зчитаними даними

Максимальна частота обертання електродвигуна – 50 ГЦ, максимальна кількість обертів – 3000, таким чином коефіцієнт множення для частоти, щоб перевести її у оберти:

$$\frac{N}{F} = \frac{3000}{50} = 60.$$

Таким чином, при 500 обертах частота обертання на перетворювачі частоти має дорівнювати 8,3 Гц, перевіримо це, подивившись на цифрову панель перетворювача частоти (рис. 4.9).



Рисунок 4.9 – Частота обертання при заданих 500 об\хв

Таким чином можна зробити висновок, що система керування електродвигуном та перетворювачем частоти працює коректно, так само коректно відображаються поточні оберти.

4.4 Перевірка системи комутації

Система комутації представляє з себе групу з чотирьох контакторів та чотирьох твердотільних реле, що керують контакторами. Для перевірки системи увімкнемо кожен з контакторів окремо, у разі, якщо контактор втягує контактну пластину в себе – він працює коректно. Твердотільні реле живляться від 220В та дозволяють гальванічно роз'язати схему керування реле на платі керування та високовольтну частину. Підключення реле зображено на рис. 4.10.

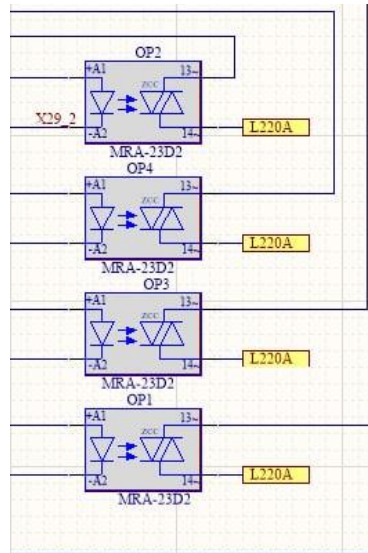


Рисунок 4.10 – Твердотільні реле, що керують контакторами

Контактори КК2, КК3 та КК4 дають змогу комутувати декілька акумуляторних батарей на лінію, до якої буде підключатися генератор. Контактори підключено таким чином, щоб запобігти замиканню акумуляторів, що може призвести до вибуху батарей. Також для захисту встановлено запобіжники, розраховані на 200 А. Схема підключення контакторів наведено на рис. 4.11.

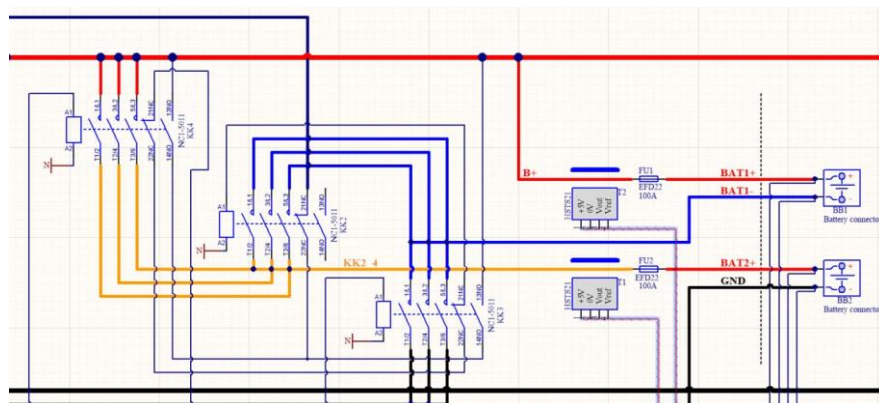


Рисунок 4.11 – Схема підключення контакторів КК2, КК3, КК4

Контактор КК1 стоїть в розриві основної лінії для можливості аварійного швидкого відключення лінії (рис. 4.12).

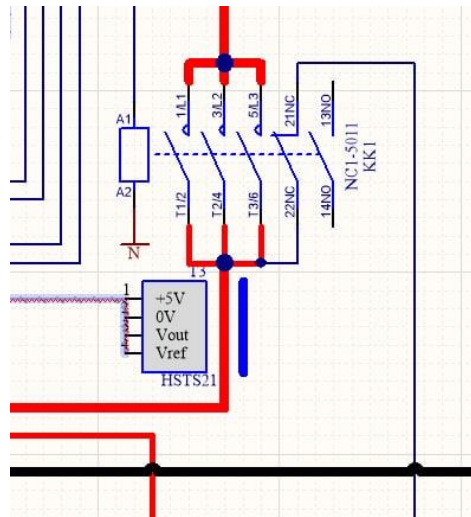


Рисунок 4.12 – Схема підключення контактора КК1

Зовнішній вигляд системи контакторів продемонстровано на рис. 4.13, де також можна побачити, що контактор КК4 у замкнутому положенні.

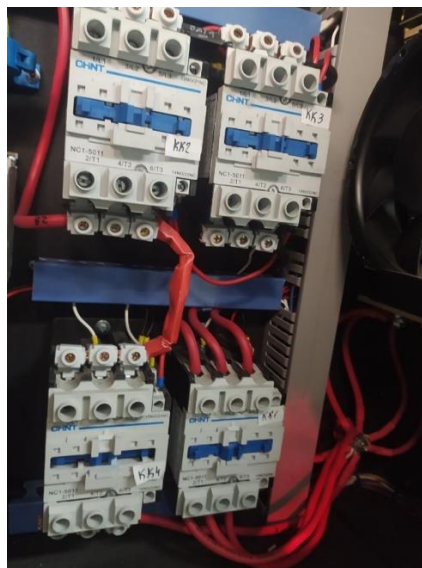


Рисунок 4.13 – Контактор КК4 у замкнутому стані

4.5 Перевірка генераторів різних типів

Для того, щоб комплексно перевірити систему регулювання напруги, систему перевірки цілісності обмотки збудження та систему навантаження необхідно підключити до стенду генератор змінного струму та розігнати його.

В якості першого тестового екземпляру було обрано генератор, що має лише обмотку збудження та не має можливості регулювання напруги (рис. 4.14).

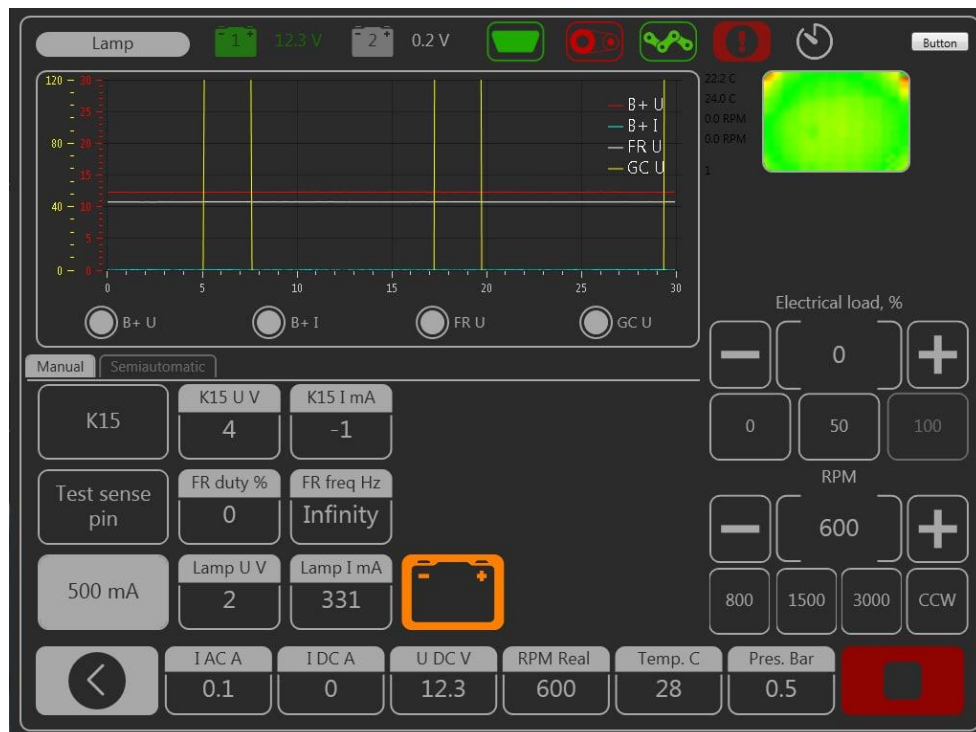


Рисунок 4.14 – Екран перевірки генераторів, що не регулюються

Можна побачити, що генератор при швидкості обертання 600 об\хв не починає збудження, про це говорить нульове значення постійного струму у полі «I DC A» та помаранчевий індикатор, що розташовано вище та значення струму індикатора 331 mA у полі «Lamp I mA». Цей індикатор свідчить про те, що зараз

через обмотку збудження протікає струм у 331 мА та напругою 2 В. Збільшимо швидкість до 1100 об/хв.

Як можна побачити на рисунку 4.15 – після розгону до 1100 об/хв генератор переходить у стан збудження, про це свідчить індикатор обмотки збудження, що став сірого кольору, відсутність струму на обмотці збудження у полі «Lamp I mA» те, що генератор утворив струм у 4 А, що показано у полі «I DC A», та те, що напруга на генераторі підвищилась до 13,2 В, що видно у полі «U DC V». Стан збудження генератора означає те, що генератор спроможний виробляти необхідну електроенергію для споживачів.

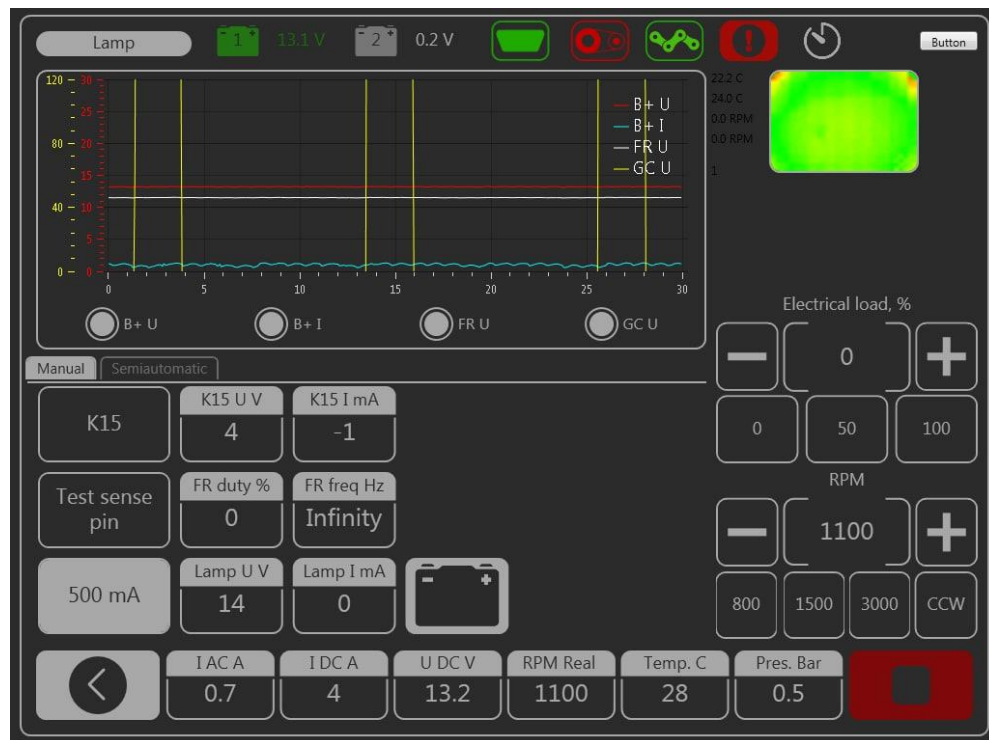


Рисунок 4.15 – Результат збільшення швидкості обертання

Перевіримо систему навантаження на даному генераторі. Для цього підніmemo навантаження до 20 відсотків (рис. 4.16). Як результат має піднятися постійний струм генератора.

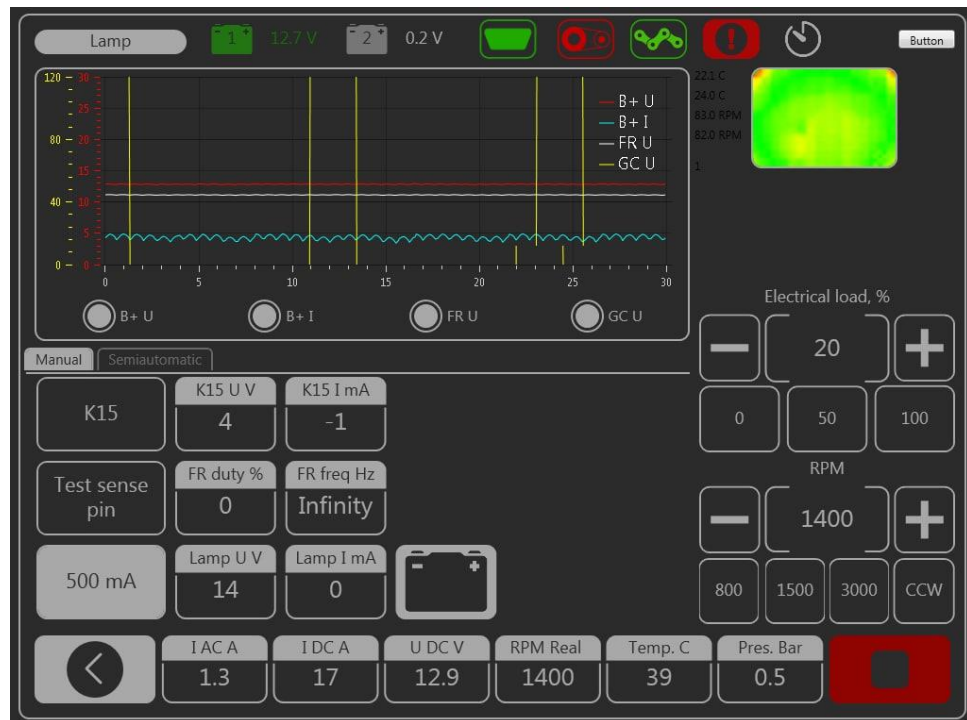


Рисунок 4.16 – Збільшення навантаження генератора до 20 %

Як можна побачити, струм генератора підвищився до 17 А, напруга генератора впала до 12,9 В. Також, для того щоб генератор стабільно справлявся з навантаженням слід підняти швидкість обертання генератора до 1400 об/хв.

Далі слід перевірити генератор, що має можливість регулювання напруги через цифровий протокол. Це генератор типу LIN з максимальним струмом у 150 А (рис. 4.17).

Процедура перевірки такого генератора включає наступні кроки:

- підключення генератора до стенду;
- автоматичне визначення типу протоколу;
- у разі, якщо генератор відповідає на певний набір команд – циклічно відправляємо необхідні для цього конкретного типу команди;
- перевірка електричних показників генератора.

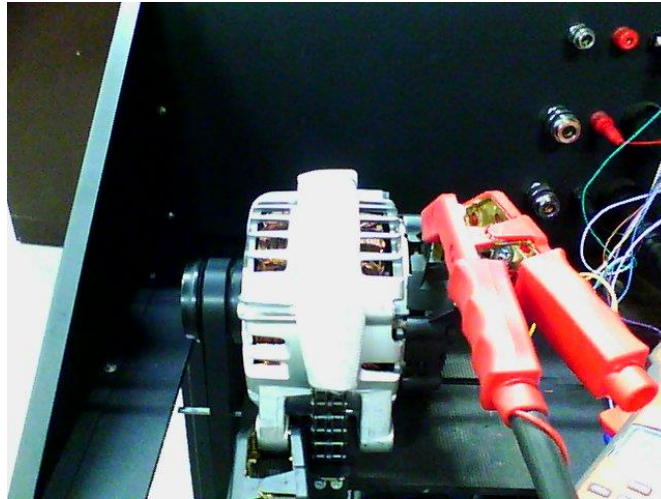


Рисунок 4.17 – Генератор типу LIN

Процедура визначення типу протоколу включає в себе циклічну відправку пакетів з різними ID, у разі, якщо генератор відповів на певний набір ID, програма порівнює цей набір з все заготовленими наборами ID, яким відповідають певні типи протоколу LIN.

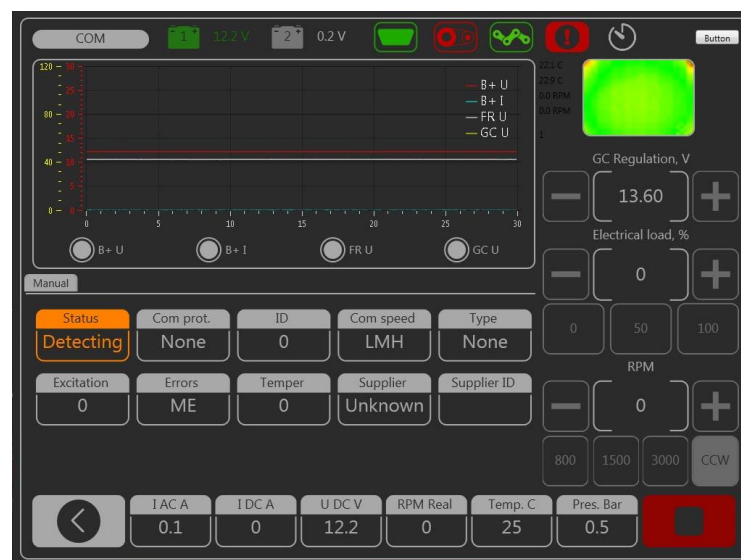


Рисунок 4.18 – Процедура визначення типу протоколу та швидкості обміну повідомленнями



Рисунок 4.19 – Стан генератора після визначення типу протоколу

Як видно на рис. 4.19 тип протокол у даного генератора – LIN 1D, власний ID генератора – 25, у генераторі присутні дві помилки – електрична та механічна, це можна побачити у полі «Errors», виробник генератора – компанія Valeo.

Розігнавши генератор до 1700 об/хв можна побачити, що постійний струм генератора дорівнює 6 А, напруга на генераторі дорівнює напрузі, що виставлена у полі регулювання (поле «GC Regulation, V»), різниця у 0,1 В є особливістю конкретно цього генератора, що може бути ознакою того, що у реле-регуляторі є помилка, але він регулюється.

Спробуємо навантажити генератор на, наприклад, 35 %. Максимальний струм цього генератора дорівнює 150 А, тобто, навантаження у 35 % має дорівнювати 52 А. Також, для того щоб впевнитись у тому, що система охолодження навантаження працює коректно, виміряємо температуру спіралей за допомогою тепловізора. Вентилятори охолодження вмикаються автоматично при увімкненні хоча б однієї спіралі.

Як можна побачити на рис. 4.20 максимальна температура спіралей при навантаженні у 52 А становить приблизно 36 °С, що навіть нижче за робочу температуру даних спіралей.



Рисунок 4.20 – Термограма спіралей навантаження під час роботи

Також перевіримо температуру генератора під час роботи (рис. 4.21).



Рисунок 4.21 – Термограма генератора під час роботи

Після того, як усі системи, що стосуються керування генератором перевірено, можна зробити висновок, що система працездатна та може наочно показувати усі необхідні параметри генератора, що діагностується.

4.6 Перевірка системи автоматичного тестування

В якості прикладу роботи автоматичного режиму візьмемо генератор, що не регулюється та складемо для нього тести, на кожному з яких будуть зніматися певні показники та заноситися у фінальний звіт.

4.6.1 Перевірка обмотки збудження

Для перевірки обмотки збудження необхідно виконати наступні дії:

- подати струм на обмотку збудження;
- заміряти цей струм;
- записати його у звіт.

Таким чином ми отримуємо струм обмотки збудження у стані спокою, цей параметр свідчить про цілісність обмотки, якщо струм більше 50 мА – обмотка справна.

Код цього тесту представлено на рис. 4.22.

```
public Dictionary<string, object> MainTest()
{
    OnRaiseCustomEvent(new StatusChangedEventArgs(ETestStatus.Running));
    double result = 0;
    Dictionary<string, object> list = new Dictionary<string, object>();

    if ([[Control.LampActive]])
    {
        result = Control.LampI;
    }
    else
    {
        Control.SwitchLampCurrent();
        Task.Delay(2000);
        if (token.IsCancellationRequested) { return list; }
        if (Control.LampActive) { result = Control.LampI; }
    }
    list.Add("lamp_current_0rpm", result);
    OnRaiseCustomEvent(new StatusChangedEventArgs(ETestStatus.Stopped));
    return list;
}
```

Рисунок 4.22 – Код тесту перевірки обмотки збудження

4.6.2 Перевірка затримки збудження

Затримка збудження – це параметр що демонструє, через який час, після виходу на робочі оберти генератор починає збудження. Цей параметр зустрічається лише у деяких генераторів, але його наявність необхідно перевіряти.

Тест включає наступні кроки:

- запуск таймера, що буде заміряти час розгону;
- швидкий розгін генератора на великі оберти (наприклад більше ніж 2500 об\хв);
- зупинка таймера розгону, збереження параметру «час розгону генератора» у звіті;
- запуск таймера затримки;
- очікування, поки напруга генератора не збільшиться до мінімальної робочої напруги;
- зупинка таймера затримки;
- збереження параметра «затримка розгону» у звіті.

Параметр часу розгону генератора свідчить про те, що генератор або протидіє власному розгону, чи не протидіє. У генераторі може бути механічна несправність, що не дає ротору розкрутитися, або електричні несправності, які протидіють нормальному розгону генератора. Якщо навіть після розгону до максимальних обертів генератор не збуджується протягом 15 с – тест зупиняється, в звіті відмічається, що тест не пройдено. Код тесту представлено на рис. 4.23.

```

public Dictionary<string, object> MainTest()
{
    double result = 0;
    Dictionary<string, object> list = new Dictionary<string, object>();

    OnRaiseCustomEvent(new StatusChangedEventArgs(ETestStatus.Running));

    TestTask = Task.Factory.StartNew(() =>
    {
        alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.SwitchAccelerationTimeCFM(1);
        alternatorManualModel.SetRPMTToHerzs(3000);
        testStopWatch.Start();
        accelerationSpeedStopWatch.Start();
        double voltage = 0;

        if (alternatorManualModel.Setup.Voltage == EVoltage.V12) { voltage = 13.6; }
        else if (alternatorManualModel.Setup.Voltage == EVoltage.V24) { voltage = 27.2; }

        while (alternatorManualModel.VariablesModel.BPlusVoltage < voltage)
        {
            Thread.Sleep(1);
            if (testStopWatch.ElapsedMilliseconds > 15000 || token.IsCancellationRequested)
            {
                testStopWatch.Reset();
                alternatorManualModel.SetRPMTToHerzs(0);
                return;
            }
        }

        testStopWatch.Stop();
        while (alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.RPMReal != 3000) { Thread.Sleep(1); }
        accelerationSpeedStopWatch.Stop();
        result = Math.Round(testStopWatch.ElapsedMilliseconds / 1000.0, 3);
        double accelerationTime = Math.Round(accelerationSpeedStopWatch.ElapsedMilliseconds / 1000.0, 3);

        list.Add("start_time", result);
        list.Add("time_from_0_to_3000", accelerationTime);
        alternatorManualModel.SetRPMTToHerzs(0);
        while (alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.RPMReal != 0) { Thread.Sleep(1); }
    });
    TestTask.Wait();
    alternatorManualModel.SetRPMTToHerzs(0);
    alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.SwitchAccelerationTimeCFM(2);
}

```

Рисунок 4.24 – Код тесту на визначення часу розгону та часу затримки збудження

4.6.3 Тест на визначення швидкості, на якій генератор збуджується

Швидкість, на якій збуджується генератор є важливим параметром, він показує, чи присутні у генераторі певні електричні несправності. Швидкість обертання при якій генератор збуджується має бути у межах від 600 до 1500 обертів.

Тест включає наступні кроки:

- поступовий та плавний розгін генератора до максимальних обертів;
- під час розгону вимірюється напруга генератора, у момент, коли вона дійшла до робочої – перестаємо підіймати швидкість, фіксуємо швидкість обертання та заносимо її у звіт;
- через дві секунди після початку збудження фіксуємо наступні параметри: струм обмотки збудження, потужність електродвигуна, робоча напруга, постійний струм, змінний струм, температура генератора;
- зупиняємо обертання та заносимо параметри у звіт.

Процедуру розгону генератора показано на рис. 4.25, процедуру фіксації параметрів показано на рис. 4.26.

```

    }), new Task(() =>
    {
        int speed;
        alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.FULLStopCFM();
        alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.SwitchAccelerationTimeCFM(2);
        alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.RunCFM();
        Thread.Sleep(1000);
        for (speed = 400; speed <= 2800; speed += 200)
        {
            alternatorManualModel.SetRPMTtoHerzs(speed);
            Thread.Sleep(2000);
            if (token.IsCancellationRequested || TestTask[0].IsCompleted)
            {
                alternatorManualModel.SetRPMTtoHerzs(0);
                break;
            }
        }
        alternatorManualModel.SetRPMTtoHerzs(0);

        while (alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.RPMReal != 0) { Thread.Sleep(1); }

        alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.FULLStopCFM();
        alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.SwitchAccelerationTimeCFM(1);
        alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.RunCFM();

        cancellationTokenSource.Cancel();
    })
}
}

```

Рисунок 4.25 – Процедура розгону генератора

```

new Task(() =>
{
    while (alternatorManualModel.VariablesModel.BPlusVoltage < voltage)
    {
        Console.WriteLine("Started Measure Task");
        Thread.Sleep(1);
        if (token.IsCancellationRequested)
        {
            alternatorManualModel.SetRPMToHerzs(0);
            return;
        }
    }
    list.Add("start_speed", alternatorManualModel.Devices.CFMDDevice.RPMReal);
    list.Add("lamp_current_freerun", alternatorManualModel.LBGControl.LampI);
    list.Add("motor_power_freerun",
        alternatorManualModel.Devices.CFMDDevice._cfm_curr_out *
        alternatorManualModel.Devices.CFMDDevice._cfm_voltage_out);
    Thread.Sleep(2000);
    list.Add("voltage_setpoint", alternatorManualModel.VariablesModel.BPlusVoltage);
    list.Add("dc_current_freerun", alternatorManualModel.VariablesModel.BPlusCurrent);
    list.Add("ac_current_freerun", alternatorManualModel.VariablesModel.AlternateCurrent);
    list.Add("temperature_freerun", alternatorManualModel.VariablesModel.Temperature);

    alternatorManualModel.IgnitionControl.SenseOn();
    Thread.Sleep(2000);
    list.Add("voltage_sense_on", alternatorManualModel.VariablesModel.BPlusVoltage);
    alternatorManualModel.IgnitionControl.SenseOff();
}

```

Рисунок 4.26 – Процедура фіксації параметрів

4.6.4 Тест максимального струму генератора

Даний тест демонструє який максимальний струм здатен утворити генератор під час роботи та на скільки генератор зносився. Також фіксуються інші параметри, що заміряються під навантаженням. Номінальний струм даного конкретного генератора, що тестується – 90 А.

Тест включає наступні кроки:

- розгін генератора до максимальних обертів;
- поступове планує підвищення навантаження (приблизно по 2 А);
- у момент, коли напруга генератора починає зменшуватися зменшуємо навантаження на один крок;
- фіксуємо поточне значення постійного струму як максимальне можливе для цього генератора;
- фіксуємо змінний струм генератора;
- фіксуємо напругу генератора;

- фіксуємо потужність електродвигуна;
 - фіксуємо струм обмотки збудження;
 - очікуємо одну хвилину, після чого фіксуємо значення температури генератора
- зупиняємо тест.

Код процедури розгону та підвищення навантаження продемонстровано на рис. 4.27, код процедури фіксації параметрів продемонстровано на рис. 4.28.

```
TestTask = new Task[2]
{
    new Task(() =>
    {
        int normload = 0;
        while (alternatorManualModel.Devices.CFMDDevice.RPMReal != 3000) { Thread.Sleep(1); }
        for(int load = 2; load <= 100; load += 2)
        {
            if(alternatorManualModel.VariablesModel.BPlusVoltage < voltage)
            {
                normload = load;
                break;
            }

            alternatorManualModel.ControlLoadsSetSemiautomatic(load, loadMax);
            if (token.IsCancellationRequested)
            {
                alternatorManualModel.ControlLoadsSetSemiautomatic(0, loadMax);
                alternatorManualModel.SetRPMTtoHerzs(0);
                return;
            }
            Thread.Sleep(1000);
        }
        if((normload - 2) > 0)
        {
            alternatorManualModel.ControlLoadsSetSemiautomatic(normload - 2, loadMax);
        }
    }
}
```

Рисунок 4.27 – Код процедури розгону та підвищення навантаження

```

    }), new Task(() =>
    {
        while (alternatorManualModel.Devices.CFMDevice.RPMReal != 3000) { Thread.Sleep(1); }
        while(alternatorManualModel.VariablesModel.BPlusVoltage > voltage)
        {
            if (token.IsCancellationRequested) { return; }
            Thread.Sleep(1);
        }
        list.Add("dc_current_load", alternatorManualModel.VariablesModel.BPlusCurrent);
        list.Add("ac_current_load", alternatorManualModel.VariablesModel.AlternateCurrent);
        list.Add("voltage_max_load", alternatorManualModel.VariablesModel.BPlusVoltage);
        list.Add("lamp_current_load", alternatorManualModel.LBGControl.LampI);
        list.Add("motor_power_load", alternatorManualModel.Devices.CFMDevice._cfm_curr_out
        * alternatorManualModel.Devices.CFMDevice._cfm_voltage_out]);

        TemperatureDelayStopWatch.Start();

        while (TemperatureDelayStopWatch.ElapsedMilliseconds < 60000)
        {
            if (token.IsCancellationRequested)
            {
                alternatorManualModel.ControlLoadsSet(0);
                alternatorManualModel.SetRPMTtoHerzs(0);
                TemperatureDelayStopWatch.Stop();
                return;
            }
            Thread.Sleep(1);
        }
        TemperatureDelayStopWatch.Reset();
        TemperatureDelayStopWatch.Stop();

        list.Add("temperature_load", alternatorManualModel.VariablesModel.Temperature);

        cancelTokenSource.Cancel();
        alternatorManualModel.SetRPMTtoHerzs(0);
        alternatorManualModel.ControlLoadsSet(0);
    })
}

```

Рисунок 4.28 – Код процедури фіксації параметрів генератора

4.6.5 Перевірка тесту та результати

Після перевірки генератора за цими чотирма пунктами автоматично складається звіт, у якому зафіксовано усі параметри, що були зчитані під час проведення тесту. Також у звіті відображаються результати певних тестів у форматі «PASS\FAILED».

Результати тестів продемонстровано на рис. 4.29.

Alternator test report				
Tester ID:	MS005			Date:
Alternator:	#alternator_name	Alternator type:	Lamp	Voltage: #nominal_voltage
Test 1	Alternator is off	Speed:	0	Load:
Lamp current			171,46 mA	PASS
FR duty		#fr_duty_0rpm	%	
FR frequency		#fr_freq_0rpm	Hz	
Test 2	Turn on delay measurement	Speed:	0 - 3000	Load:
Acceleration speed			4,3 sec	
Start time			1,69 sec	
Test 3	Turn on speed, free run test	Speed:	0 - 3000	Load:
Start speed			984 RPM	PASS
Voltage setpoint	Вырезать		13,64 V	PASS
Lamp current			0,63 mA	PASS
FR duty		#fr_duty_freerun	%	
FR frequency		#fr_freq_freerun	Hz	
Motor power at free run			698,5 W	
Battery charging current, DC			5,17 A	
Battery charging current, AC			2,66 A	
Alternator temperature			68,36 DegC	
Sence ON voltage			14,77 V	
Test 4	Load test	Speed:	3000	Load:
Maximum alternator current, DC			67,51 A	FAIL
Maximum alternator current, AC			3,27 A	PASS
Voltage at max load			13,82 V	PASS
Maximum output current			932,9882 W	
Alternator temperature			100,63 DegC	
Lamp current		#lamp_current_freerun	mA	FAIL
FR duty		#fr_duty_load	%	
FR frequency		#fr_freq_load	Hz	
Motor power under load			1631,48 W	
Efficiency			1,000008789 %	

Рисунок 4.29 – Результати автоматичного тесту

В результаті даного тесту було виявлено, що генератор має певну зношеність, що видно при проходженні тесту на максимальний струм, зафіксований максимальний струм не відповідає номінальному значенню, а саме 67,51 А, що відрізняється від номінального значення у 90 А на 39,2 %. Таким чином можна зробити висновок, що генератор не зможе надати повної потужності при експлуатації.

4.7 Виробнича санітарія в лабораторії

Роботи в лабораторії відносяться до робіт категорії 1а – легка фізична робота, яка виконується сидячи.

Оптимальні норми мікроклімату згідно з ДСН 3.3.6.042-99: в холодний період року – температура 22-24 °С; відносна вологість 40-60 %; швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с. У теплий період року – температура 23-25 °С; відносна вологість 40-60 %; швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с. Забезпечується за допомогою загальнообмінної вентиляції [37].

Шум та вібрація у робочому приміщенні. У приміщенні технічного відділу причинної шуму і вібрації являються апарати, прилади і устаткування: друкуючі пристрої, комп'ютери, вентилятори, кондиціонер та ін. При їхній роботі рівень вібрації не вище 33 дБ, рівень шуму не повинен перевищувати 50 дБА, що є нормою для даного виду діяльності відповідно до НПАОП 0.00-1.28-2010 [37].

Заходи по забезпеченню встановлених норм: використання спеціальних шум-поглинаючих перегородок, застосування меблів, які сприяють зменшенню шуму і вібрації, установка апаратів і приладів на спеціальні амортизуючі підкладки.

Електробезпека. Для живлення устаткування (ПЕОМ, освітлювальні прилади) які є однофазними споживачами використовується трифазна мережа 380/220 В частотою 50 Гц з глухо заземленої нейтралі. Із цієї причини при роботі з електроприладами існує потенційна небезпека ураження людини електричним струмом, тому в правилах устрою електроустановок (згідно ПУЕ [38]) передбачені наступні заходи електробезпеки: конструктивні, схемно-конструктивні й експлуатаційні.

Конструктивні – вимоги що забезпечують захист від доторкання персоналу до струмоведучих частин. ПЕОМ мають ступінь захисту IP 44. Прилади освітлення IP-23.

Схемно-конструктивним заходом захисту є занулення електрообладнання у приміщенні. Для користувача ПЕОМ важливим є дотримання правил безпеки експлуатації електрообладнання. Так, заборонено доторкатися до дротів та з'єднань при наявності напруги в мережі, а також

самостійно проводити ремонт електрообладнання. Усі питання щодо ремонту налагодження та інше, можуть виконувати тільки електрики та від повідні фахівці, які мають допуск до роботи із електрообладнанням певної категорії.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання даної магістерської атестаційної роботи були розглянуті основні види генераторів змінного струму, їх будова та особливості. Розглянуто аналогічні рішення закордонних компаній. Були розглянуті сфери використання генераторів змінного струму. Були представлені та проаналізовані деякі з цифрових протоколів, що присутні у багатьох генераторах для зв'язку з зовнішніми мережами.

Розроблено алгоритм тестування певних видів генераторів змінного струму, були наведені основні параметри, за якими аналізується справність генератора змінного струму.

Була змодельована та розроблена програмно-апаратна система, що реалізує розроблений алгоритм діагностування генераторів змінного струму.

Були проведені тести, в результаті яких була перевірена працездатність кожної окремої системи.

Також були проведені автоматичні тести генераторів, в результаті яких були отримані результати у вигляді звіту, що показує характеристики роботи генератора.

Таким чином, результатом виконання даної атестаційної роботи було отримано систему, що має ряд переваг перед існуючими аналогічними рішеннями, а саме: наявність програмної та апаратної реалізації сучасних цифрових протоколів, наявність гнучкого та надійного електричного навантажувача, наявність цифрового тепловізора, що дозволяє знаходити окремі зони генератора, що перегріваються, підвищену загальну мобільність комплексу діагностування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Зеленов Д.В. Автоматична система діагностики генераторів змінного струму/ Д.В. Зеленов// Автоматизація та приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» (ADED-2020) збірник студентських наукових статей (Випуск 1) – Харків: ХНУРЕ, 2020. С.: 180 – 185
2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення [Текст]. – Введ. 2015-06-22. – К.: Держстандарт України, 2017. – 29 с.
3. Невлюдов І.Ш. Методичні вказівки з «Розробки й оформлення магістерської атестаційної роботи» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітні програми: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І.Ш. Невлюдов, В.В. Косенко, В.В. Євсєєв. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 55 с.
4. Директива Європейського Парламенту и Совета Европейского Союза 2006/42/ЕС от 17 мая 2006 г. о машинах и механизмах [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <http://www.icqc.eu/userfiles/File/Directive%202006%2042%20EC%20certification.pdf> – 07.11.2020.
5. Cummins launches new C25G gas generator series featuring Liebherr engine [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://im-mining.com/2020/03/03/cummins-launches-new-c25g-gas-generator-series-featuring-liebherr-engine/> – 11.10.2020.
6. INSITE Digital Products and Services [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.cummins.com/parts-and-service/digital-products-and-services/insite> – 11.10.2020.

7. Baker DX Static Motor Analyzer [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://megger.com/static-electric-motor-analyzer-baker-dx> – 12.10.2020.

8. Baker EXP4000 Dynamic Motor Analyzer [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://megger.com/dynamic-motor-analyzer-baker-exp4000> – 12.10.2020.

9. Тестер генераторов Alt Diag Pro [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://wyposazeniemm.pl/product-rus-5630-%D0%A2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B5%D1%80-%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2-Alt-Diag-Pro.html> – 12.10.2020.

10. Влаштування та принцип роботи автомобільного генератора [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <http://mlab.org.ua/articles/electric/59-electric-generator.html> – 20.10.2020.

11. Вольдек А.И. Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока [Текст] / «Энергия». 1978 г. - 357 с.

12. Турбогенератор [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d5/BalakovoNPP_tb.jpg/1280px-BalakovoNPP_tb.jpg – 24.10.2020.

13. Ветровые электростанции для дома и дачи. Преимущества и недостатки, виды и цены. [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://uaenergy.com.ua/post/32526/vetrovye-elektrostantsii-dlya-doma-i-dachi> – 26.10.2020;

14. Дві компанії побудують вітряні електростанції у одеській області [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: https://biz.censor.net/news/3075539/dve_kompanii_postroyat_vetrovye_elektrostantsii_v_odesskoyi_oblasti_za_270_millionov_evro – 26.10.2020;

15. Continental supplying 48-volt belt starter generator with integrated power electronics for Audi A8 [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.greencarcongress.com/2018/01/20180115-conti.html> – 29.10.2020;

16. CAN Specification Version 2.0 / Robert Bosch GmbH, 1991 – 4 с.

17. CAN-Frame in base format with electrical levels without stuffbits [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://imgbin.com/png/XwAZj2Pa/can-bus-frame-canopen-png> – 02.11.2020;

18. Что такое шина LIN [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу : <https://canhacker.ru/шина-lin/что-такое-шина-lin> – 02.11.2020.

19. Bosch (OE Reman) Alternator; 70 Amp with Plug Connection [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.autohausaz.com/pn/AL65X> – 04.11.2020.

20. ГЕНЕРАТОР ФУНКЦІЙ KEYSIGHT 33511B; 20 МГц [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://ferria.su/product/33511b/> – 04.11.2020.

21. Генератор 100а 2 , 0 cdti [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: https://vitebsk.izap24.by/tovar/11786514_insignia-a-generator-100a-20-cdti-13579668.html – 04.11.2020.

22. SIG terminal [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.altstar.kiev.ua/images/HC-Parts/CA1777IR.2.jpg> – 04.11.2020.

23. АИР112М2 [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://provent.com.ua/wa-data/public/shop/products/42/91/9142/images/5856/5856.750.jpg> – 06.11.2020.

24. АИР112М2 [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу:https://images.ua.prom.st/496962000_496962000.jpg?PIMAGE_ID=496962000 – 06.11.2020.

25. Частотный преобразователь [Электронный ресурс]. – Электрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/vfd/> – 08.11.2020.

26. VFD-E [Электронный ресурс]. – Электрон. текстові дані. – Режим доступу: https://images.ua.prom.st/1122553119_vfd220e43a-preobrazovatel-chastoty.jpg – 08.11.2020.

27. VFD-E Series [Электронный ресурс]. – Электрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.delta-electronics.info/VFDE/7173848618> – 08.11.2020.

28. Электрические нагрузки [Электронный ресурс]. – Электрон. текстові дані. – Режим доступу: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/1445-jelektricheskie-nagruzki.html> – 10.11.2020.

29. What is electrical load? [Электронный ресурс]. – Электрон. текстові дані. – Режим доступу: <http://ampedelectrical.co.za/what-is-an-electrical-load/> – 10.11.2020.

30. Какие типы электрических потребителей бывают? Активная и реактивная нагрузка, активно-индуктивная и активно-емкостная, в чем различия? [Электронный ресурс]. – Электрон. текстові дані. – Режим доступу: <http://electrokaprizam.net/content/69-tipy-elektricheskikh-potrebitelej-aktivnaya-i-reaktivnaya-nagruzka-aktivno-induktivnaya-i-aktivno-emkostnaya-v-chem-razlichiya> – 10.11.2020.

31. Интеллектуальные ключи. Вопросы и ответы [Электронный ресурс]. – Электрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://www.terraelectronica.ru/news/5575> – 11.11.2020.

32. Пускатель электромагнитный (магнитный пускатель) [Электронный ресурс]. – Электрон. текстові дані. – Режим доступу: https://www.svaltera.ua/guide/glossary/magnitnyy_puskatel.php – 11.11.2020.

33. Магнитный пускатель 50А 220V NC1-50 Chint [Электронный ресурс]. – Электрон. текстові дані. – Режим доступу:

http://www.profelectrica.com.ua/index.php?route=product/product&product_id=277 – 11.11.2020.

34. MRC 25D61Z24 1NO 1NC [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1NzkbXKT2gK0jSZFvq6xnFXXaC/mrc-25d61z24-1z-24v-dc-modulo-de-013.jpg> – 12.11.2020.

35. 110077 – Alternator [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: https://hc-cargo.com/files/billeder/ecom/products/fg_draw/a9_3.jpg – 13.11.2020.

36. PPC-F Bay Trail Fanless Series [Електронний ресурс]. – Електрон. текстові дані. – Режим доступу: https://dls.ieiworld.com/IEIWeb/PDC_OBJ/NOTES/DATASHEET/2020_Catalog/Panel_Computing/PPC-F12B_15B_17B_19B-BT_web_20201026.pdf – 14.11.2020.

37. НПАОП 0.00-1.28-10. Про затвердження правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин [Текст]. – Введ. 2010-04-10. – К.: Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 2010. – 30 с.

38. ПУЕ-2011. Правила устройства электроустановок [Текст]. – Введ. 2006-10-06. – К. : Об'єднання енергетичних підприємств «галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики», 2006. – 34 с.

39. Зеленов Д.В. Автоматична система діагностики генераторів змінного струму/ Д.В. Зеленов// Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології Збірник матеріалів II форуму «Автоматизація, електроніка та робототехніка. Стратегії розвитку та інноваційні технології» до 90-річчя ХНУРЕ. – Харків, ХНУРЕ, 2020. С.: 49-53.