

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри В. М. Рябенський
д.т.н., професор

« 16 » грудня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Мікропроцесорна система автоматичного пуску аварійного
суднового дизель-генератора

Виконав: студент 6 курсу, групи 6321М
спеціальності 171

«Електроніка»

(шифр і назва спеціальності)

ОПП «Електронні системи»

Редька І.В.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник д.т.н., проф. Ушкаренко О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н., проф. Черно О.О.

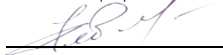
(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2024 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ННІ	автоматики та електротехніки
Кафедра	програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	171 «Електроніка»
ОПП	Електронні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  В. М. Рябенський
д.т.н., професор

« 16 » жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Редьці Івану Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Мікропроцесорна система автоматичного пуску аварійного
суднового дизель-генератора

керівник роботи Ушкаренко Олександр Олегович, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу

від «14» жовтня 2024 року № 1075-уч.

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи судновий дизель-генератор потужністю 100 кВт;

лінійна напруга 380 В, частота 50 Гц; час запуску 10-30 секунд; режим роботи -
цілодобовий моніторинг стану енергосистеми та готовність до запуску;

масо-габаритні показники знижені на 10-15% порівняно з аналогічними системами

4. Мета дослідження Розробити та обґрунтувати апаратно-програмний комплекс
для автоматизованого запуску аварійного дизель-генератора судна, що забезпечує
зменшення масо-габаритних показників системи на 10-15% порівняно з попередніми
версіями за рахунок використання сучасної елементної бази.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

(перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз систем автоматичного пуску

аварійного суднового дизель-генератора. 2. Обґрунтування розроблювальної

системи автоматичного пуску аварійного суднового дизель-генератора

3. Програмно-алгоритмічний комплекс системи

4. Охорона праці

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

1. Структурна схема системи пуску аварійного суднового дизель-генератора

2. Принципова схема системи пуску аварійного суднового дизель-генератора

3. Блок-схема алгоритму програми для мікроконтролера

4. Друкована плата системи пуску аварійного суднового дизель-генератора

5. Схема формування імпульсів відповідної частоти та результат моделювання

7. Консультанти розділів роботи

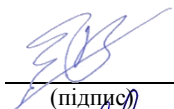
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Тубальцев А.М.		

8. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз систем автоматичного пуску аварійного судового дизель-генератора	25.10.2023 р.	виконано
2.	Аналіз систем енергопостачання судна та шляхів забезпечення безперебійності електроживлення споживачів	20.12.2023 р.	виконано
3.	Вибір керуючого мікроконтролера для системи та вибір датчиків контролю параметрів приводного двигуна та генератора	05.02.2024 р.	виконано
4.	Розробка структурної та принципової схем системи автоматичного пуску аварійного судового дизель-генератора	10.05.2024 р.	виконано
5.	Розробка блоку режимів роботи та станів системи	30.06.2024 р.	виконано
6.	Розрахунок надійності системи	15.09.2024 р.	
7.	Розробка алгоритму програми для керуючого мікроконтролера	05.11.2024 р.	виконано
8.	Розробка друкованої плати системи	28.11.2024 р.	виконано
9.	Підготовка розділу з охорони праці	15.12.2024 р.	виконано

Студент


 (підпис)

Керівник роботи


 (підпис)

І.В. Редька

(прізвище та ініціали)

О.О. Ушкаренко

(прізвище та ініціали)

Анотація

В магістерській кваліфікаційній роботі, що представлена на 72 сторінках, виконується розробка мікропроцесорної системи автоматичного пуску аварійного суднового дизель-генератора. Проведено аналіз існуючих схем пуску, обґрунтовано вибір структури системи, наведені основні вимоги до пристрою. У роботі виконана розробка функціональної, структурної та принципової схеми пристрою, обрано елементну базу. Наведено опис роботи схеми та виконано розрахунок елементів. Реалізація комплексного системного підходу при розробці системи дозволило отримати якісно нові технічні та програмні рішення для забезпечення надійних процесів безперебійного генерування електроенергії в судновій електроенергетичній системі. У рамках магістерської роботи розглянуті питання охорони праці.

Ключові слова: суднова електроенергетична система, аварійний дизель-генератор, система керування, мікроконтролер, структурна оптимізація.

Abstract

The master's qualification work, which is presented on 72 pages, develops a microprocessor system for automatic start-up of an emergency marine diesel generator. The analysis of existing start-up schemes is carried out, the choice of the system structure is substantiated, and the main requirements for the device are given. The work develops a functional, structural and basic diagram of the device, and selects the element base. A description of the scheme operation is presented and the calculation of the elements is performed. The implementation of an integrated systems approach in the development of the system made it possible to obtain qualitatively new technical and software solutions to ensure reliable processes of uninterruptible electricity generation in the ship's electric power system. The master's work considers labor protection issues.

Keywords: ship electric power system, emergency diesel generator, control system, microcontroller, structural optimization.

ЗМІСТ

Зміст.....	3
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів..	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Аналіз систем автоматичного пуску аварійного суднового дизель-генератора.....	9
1.1. Проблеми безперебійного забезпечення судна електроенергією	9
1.2. Аварійні джерела електроживлення на судах	11
1.3. Системи керування пуску аварійних дизель-генераторів	14
1.4. Огляд засобів автоматизації, що використовуються на судах .	19
Розділ 2. Обґрунтування розроблювальної системи автоматичного пуску аварійного суднового дизель-генератора	26
2.1. Функціональна схема системи, вибір датчиків та елементної бази	26
2.2. Розробка принципової схеми та друкованої плати системи	30
2.3. Модель для дослідження суднової електроенергетичної системи в аварійних режимах	35
2.4. Розрахунок надійності системи	39
Розділ 3. Програмно-алгоритмічний комплекс системи	42
3.1. Розробка алгоритму програми для мікроконтролера	42
3.2. Блок-схеми алгоритмів окремих функцій, виконуваних системою.....	45
3.3. Модель для дослідження перехідних процесів, що виникають в системі після підключення АСДГ до суднової мережі.....	50
3.4. Синтез цифрового автомату для системи керування набором потужності після підключення АСДГ до суднової мережі	53
Розділ 4. Охорона праці	58
4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на людину	58
4.2. Забруднення повітря на робочому місці	59
4.3. Освітлення на робочому місці.....	59

4.4. Заходи з техніки безпеки та охорони праці	60
Висновки	64
Список використаних джерел	65
Додаток А.....	67
Лістинг програми для мікроконтролера	67
Додаток Б	72
Фотографії системи запуску аварійного суднового дизель-генератора	72

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

АВ – автоматичний вмикач

АРЧ – автоматичне регулювання частоти

АСДГ – аварійний судновий дизель-генератор

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

БСГ – блок синхронізації генераторів

ЕЕУ – електроенергетична установка

ЕРС – електрорушійна сила

ЗОТ – засоби обчислювальної техніки

К.К.Д. – коефіцієнт корисної дії

КШК – кероване швидкодіюче компаундування

РАП – розподіл активної потужності

РЗмН – реле зниження навантаження

РЗН – реле збільшення навантаження

СГ – синхронний генератор

СЕС – судова електроенергетична система

САПР – система автоматизації проектування

САРЗ – система автоматичного регулювання збудження

					171.6321М.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному суднобудуванні спостерігається суттєве зростання потужностей судових електроенергетичних станцій, яке перевищує показники минулого десятиліття. Це збільшення потужностей супроводжується посиленням вимог до якості електроенергії та надійності енергопостачання загалом. Оскільки суднова система функціонує в ізольованому режимі, або, інакше кажучи, є автономною, необхідність забезпечення стабільності її роботи набуває особливої важливості. Надійність системи енергопостачання безпосередньо впливає не лише на безпеку судна, але й на благополуччя його екіпажу.

Системи, які використовувалися до сьогодні, мали досить високий рівень надійності, однак завдяки впровадженню мікропроцесорних технологій досягнуто нових можливостей. Введення мікропроцесорних засобів у систему дозволило реалізувати функції самотестування та значно розширити можливості вдосконалення системи без необхідності змін у її апаратній частині. Це стало можливим завдяки модифікації алгоритмів роботи, що робить систему більш гнучкою та адаптивною до змінюваних умов.

У зв'язку з цим, дослідження, спрямовані на забезпечення надійного та безперебійного процесу генерації електроенергії на борту судна, набувають особливої актуальності. Вивчення нових підходів і технологій для підвищення ефективності роботи енергетичних систем є ключовим напрямком у сучасному суднобудуванні, що дозволяє підвищити загальну безпеку судна і його екіпажу.

Мета дослідження полягає в розробці та обґрунтуванні апаратно-програмного комплексу для автоматизованого запуску аварійного дизель-генератора судна, що забезпечує зменшення масо-габаритних показників системи на 10-15% порівняно з попередніми версіями за рахунок використання сучасної елементної бази, зокрема мікроконтролерів, а також

					171.6321М.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

оптимізації апаратних рішень та перенесенню частини функцій на програмний рівень.

Об'єкт дослідження: суднові системи автоматичного запуску аварійних дизель-генераторів.

Предмет дослідження: технічні та функціональні характеристики апаратно-програмних комплексів, що забезпечують автоматизований запуск аварійних дизель-генераторів, а також їх вплив на масо-габаритні показники.

Використані методи дослідження:

- аналіз: вивчення існуючих систем запуску дизель-генераторів та їхніх характеристик.

- моделювання: розробка математичних моделей для оцінки ефективності нових рішень.

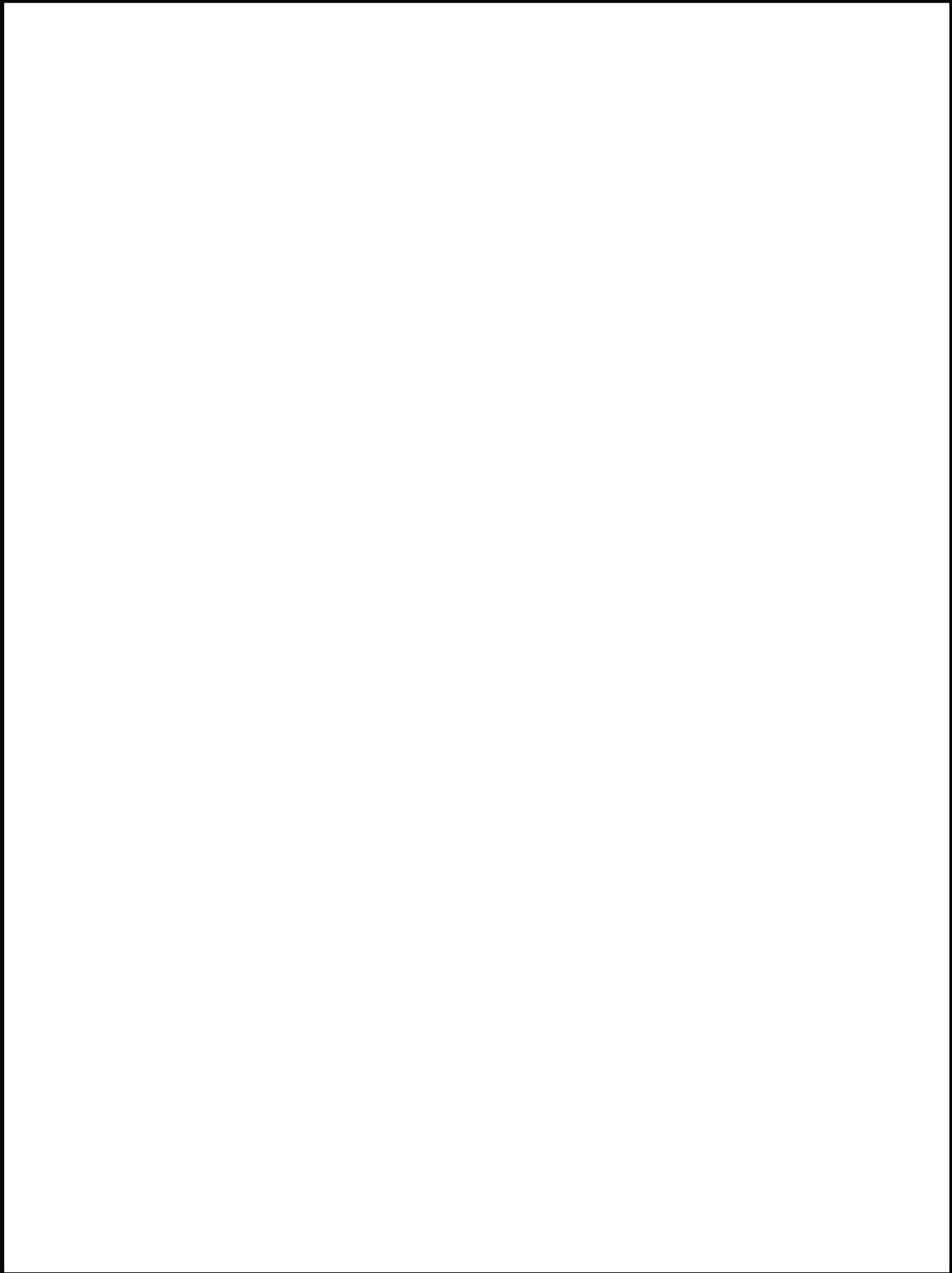
- експеримент: проведення випробувань нової системи для верифікації її роботи в реальних умовах.

- системний підхід: інтеграція компонентів системи в єдине ціле для забезпечення їх взаємодії.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами: робота виконувалась як складова держбюджетної НДР «Розробка енергоефективних засобів генерації та перетворення електроенергії для систем розмагнічування малих кораблів» (держ. реєстр. №0124U001522), в яких автор приймав участь як виконавець.

Новизна отриманих результатів дослідження полягає у розробці принципово нового підходу до автоматизованого запуску аварійних дизель-генераторів, що дозволяє не лише підвищити їхню експлуатаційну надійність, але й істотно знизити масо-габаритні характеристики. Запропоноване рішення є інтеграцією сучасних технологій у сфері автоматизації, що відкриває нові можливості для впровадження в судноплавстві та забезпечення енергетичної безпеки.

					171.6321М.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



					171.6321М.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Редька І.В.			Аналіз систем автоматичного пуску аварійного суднового ДГА	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							8	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО ПУСКУ АВАРІЙНОГО СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

1.1. Проблеми безперебійного забезпечення судна електроенергією

Забезпечення електроенергією суден завжди перебувало під пильною увагою національних класифікаційних товариств, таких як Регістр Ллойда, Німецький Ллойд, Дет Норске Верітас, Російський морський реєстр судноплавства, Бюро Верітас тощо. Ці організації контролюють проєктування, будівництво й експлуатацію суден відповідно до вимог Міжнародної конвенції з охорони людського життя на морі (SOLAS) та рекомендацій Міжнародної електротехнічної комісії (IEC). Основна увага приділяється комплектації суднової електростанції, яка має гарантувати безперервне електропостачання в будь-яких умовах, включно з аварійними ситуаціями.

Згідно з вимогами класифікаційних товариств, на кожному судні повинно бути передбачено основне джерело електроенергії. Воно має забезпечувати живлення всіх необхідних систем під час ходових операцій, маневрування, аварій, зокрема пожеж чи пробоїв, а також підтримувати належні умови життєзабезпечення на борту. Це джерело включає як мінімум два генератори, щоб у разі виходу з ладу одного з них інший міг забезпечити необхідний рівень електропостачання.

Для забезпечення безпеки передбачається також наявність резервних (аварійних) джерел живлення, таких як дизель-генератори або акумуляторні батареї з автоматичним пуском. Вони мають забезпечувати безперервне живлення критично важливого обладнання — навігаційних приладів, засобів зв'язку, протипожежних систем, систем управління рульовими та водонепроникними дверима, а також аварійного освітлення й сигналізації на випадок екстрених ситуацій.

Суднова електростанція повинна бути оснащена резервними агрегатами, які підключаються автоматично у разі збоїв основних генераторів. У режимі маневрування на шини головного розподільного щита

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

(ГРЩ) підключаються щонайменше два генератори, що працюють паралельно.

Умови експлуатації, зокрема велика автономність суден та їхнє тривале перебування у віддалених регіонах, вимагають можливості проведення профілактичних робіт без виведення судна з експлуатації. Мінімальне оснащення двома генераторами іноді не здатне забезпечити безперервне функціонування в усіх режимах, особливо під час проведення вантажних операцій, як-от робота насосів на танкерах або холодильних установок на рефрижераторах.

Практика експлуатації показує необхідність додаткового “експлуатаційного” резервного агрегату, який забезпечує електропостачання під час технічного обслуговування основних генераторів. Рішення про його встановлення приймається судновласником на підставі техніко-економічного аналізу, що враховує режими роботи судна, маршрути його експлуатації та систему технічного обслуговування.

Класифікаційні товариства також приділяють значну увагу системам розподілу електроенергії для забезпечення безпеки судна. Секціонування шин ГРЩ залежить від кількості й типу генераторів, а також від режимів роботи підключеного обладнання. Усі споживачі електроенергії поділяються на три групи:

- Споживачі, що працюють під час ходових операцій та маневрування.
- Споживачі, що працюють тільки на стоянці.
- Споживачі, що функціонують у всіх режимах.

При секціонуванні шин важливо забезпечити можливість відключення будь-якої секції без порушення функціонування судна. Це дозволяє проводити профілактичні чи ремонтні роботи без ризику зупинки критично важливих систем. Рекомендується:

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Підключати основні та резервні механізми пропульсивної установки, рульових і вантажних пристроїв до різних секцій ГРЩ, щоб забезпечити їхню незалежність.

Споживачі, що працюють лише на стоянці, повинні підключатися до окремої секції, яка може бути з'єднана з основними секціями для резервного живлення.

Для аварійного розподільного щита (АРЩ) передбачаються два фідери живлення — один від секції ходових споживачів, інший від стояночної секції.

Додатково, збірні шини низької напруги (220 В) повинні бути розділені на дві секції. Це дозволяє уникнути одночасного відключення критично важливих споживачів у разі зниження ізоляції або короткого замикання. В окремих випадках рекомендується живлення специфічних споживачів, як-от підрулювальних пристроїв чи холодильних контейнерів, здійснювати через валогенератори.

1.2. Аварійні джерела електроживлення на судах

На кожному самохідному судні має бути встановлене автономне аварійне джерело електроенергії. Виняток становлять судна, де основним джерелом живлення виступають акумуляторні батареї, за умови, що принаймні одна з них за ємністю та місцем встановлення відповідає вимогам, які висуваються до аварійного джерела.

Згідно з вимогами класифікаційного реєстру, як аварійне джерело може використовуватися генератор або акумуляторна батарея. Потужність аварійного джерела повинна бути достатньою для живлення всіх споживачів, необхідних для забезпечення безпеки плавання у разі надзвичайної ситуації. На судах, де електроенергія критично важлива для збереження руху, аварійне джерело повинно мати достатню потужність, щоб забезпечити відновлення руху (разом з іншими важливими механізмами, якщо це передбачено) протягом 30 хвилин після знеструмлення.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

На центральному пульті управління або головному розподільному щиті обов'язково встановлюється індикатор, який активується при розрядці будь-якої акумуляторної батареї, що виконує функцію аварійного джерела.

Аварійні джерела електроенергії повинні бути захищені лише від коротких замикань. Якщо аварійним джерелом є генератор, на центральному пульті управління або головному розподільному щиті передбачається світлова та звукова сигналізація про перевантаження генератора.

Аварійні джерела енергії на вантажних суднах повинні забезпечувати безперебійне живлення для таких систем та механізмів:

Аварійне освітлення:

- усіх коридорів, трапів і виходів із службових приміщень;
- кабін пасажирських ліфтів та їхніх шахт;
- машинних і генераторних приміщень;
- постів керування, головних та аварійних розподільчих щитів;
- приміщень аварійного дизель-генератора, штурманської рубки та радіорубки;
- місць зберігання аварійного майна, протипожежного обладнання та ручних сповіщувачів пожежної тривоги;
- насосів для осушення, пожежогасіння та спринклерних систем;
- ангарів та посадкових зон для вертольотів;
- медичних кабінетів і приміщень гірокомпаса.

Сигнальні пристрої та комунікації:

- сигнальні ліхтарі, включно з сигналами типу «Не можу управлятися»;
- внутрішній зв'язок та системи оповіщення;
- радіо- та навігаційне обладнання відповідно до вимог Регістру;
- звукові та світлові сигналізатори, необхідні в разі аварійних ситуацій;
- системи виявлення та сигналізації пожежі.

					171.6321M.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Протипожежний захист та водонепроникні пристрої:

- електричні приводи водонепроникних дверей із показчиками та попереджувальною сигналізацією;
- механізми утримання протипожежних дверей.

Інші критичні системи:

- будь-які додаткові системи, які Регістр визнає необхідними для безпеки судна та пасажирів.

Тривалість живлення аварійних систем:

- Для суден валовою місткістю понад 300 в необмеженому чи обмеженому районі плавання (R1) — аварійне джерело повинно забезпечувати роботу всіх споживачів протягом 18 годин.
- Для суден обмеженого району плавання (R3) — тривалість живлення скорочується до 12 годин.
- Для суден меншої місткості (менше 300):
 - У необмеженому районі та в зоні R1 — 6 годин.
 - У зонах R2, R2-RSN, R3-RSN та R3 — 3 години.

Також аварійні джерела повинні забезпечити освітлення зон евакуації та місць посадки в рятувальні засоби як на палубі, так і за бортом протягом щонайменше 3 годин.

Вимоги до аварійних джерел енергії наступні.

1. Аварійний генератор:

- Має працювати від двигуна внутрішнього згоряння з автономними системами палива, охолодження та змащення.
- Оснащений паливними та масляними фільтрами, приладами контролю і сигналізації.
- Видаткові паливні цистерни повинні мати індикатор низького рівня палива, відповідного потребам генератора.
- Генератор повинен автоматично запускатися при зникненні напруги в основній мережі й підключатися до аварійного розподільчого щита

					171.6321M.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

протягом 45 секунд. Якщо це не виконується вчасно, підключається аварійне перехідне джерело живлення.

2. Акумуляторні батареї:

- Працюють без підзарядки, забезпечуючи стабільну напругу з коливаннями не більше 12% від номінальної протягом усього періоду розрядки.

- Мають автоматично підключатися до аварійного щита при зникненні напруги та забезпечувати живлення ключових систем.

- Якщо акумулятор використовується як перехідне джерело, він має миттєво включатися при знеструмленні мережі й підтримувати роботу споживачів згідно з регламентом.

Цей підхід гарантує, що навіть за надзвичайних ситуацій всі необхідні системи залишатимуться в робочому стані для забезпечення безпеки плавання та захисту життя людей на борту.

1.3. Системи керування пуску аварійних дизель-генераторів

До тепер широко застосовувалася така система автоматичного запуску аварійного дизель-генератора.

Якщо є кілька резервних або аварійних агрегатів, сигнал від пристрою аварійного запуску активує їх одночасний запуск, а потім, в залежності від підключеного навантаження, деякі агрегати зупиняються, тоді як інші продовжують працювати. Цей метод автоматичного вводу в експлуатацію аварійних джерел має високу надійність і швидкість дії. Однак його недоліком є необхідність підтримувати всі резервні та аварійні агрегати в стані готовності до запуску, а часті включення призводять до їх підвищеного зносу. Впровадження автоматичного включення резервного або аварійного агрегату спрощує схему автоматики, не знижуючи її надійність і швидкодію. Таким чином, при перевантаженні понад встановлене значення автоматично активується лише один агрегат із затримкою часу.

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Тривала експлуатація генераторних агрегатів суднової енергетичної системи з навантаженням, що перевищує 90% їхньої номінальної потужності, є небажаною. Водночас пристрій повинен забезпечувати зупинку резервного або аварійного агрегату при зниженні навантаження до визначеного рівня, зазвичай становить 40% від загальної потужності активних агрегатів.

Включення аварійного агрегату може бути необхідним не лише у випадку перевантаження, але також при зниженні напруги до 80% або нижче від номінального значення, або при повному зникненні напруги.

Схема пристрою автоматичного запуску представлена на рисунку 1.1. Цей пристрій складається з двох датчиків активного або повного струму, електронних реле для збільшення навантаження, зменшення навантаження, контролю напруги та виконавчих елементів.

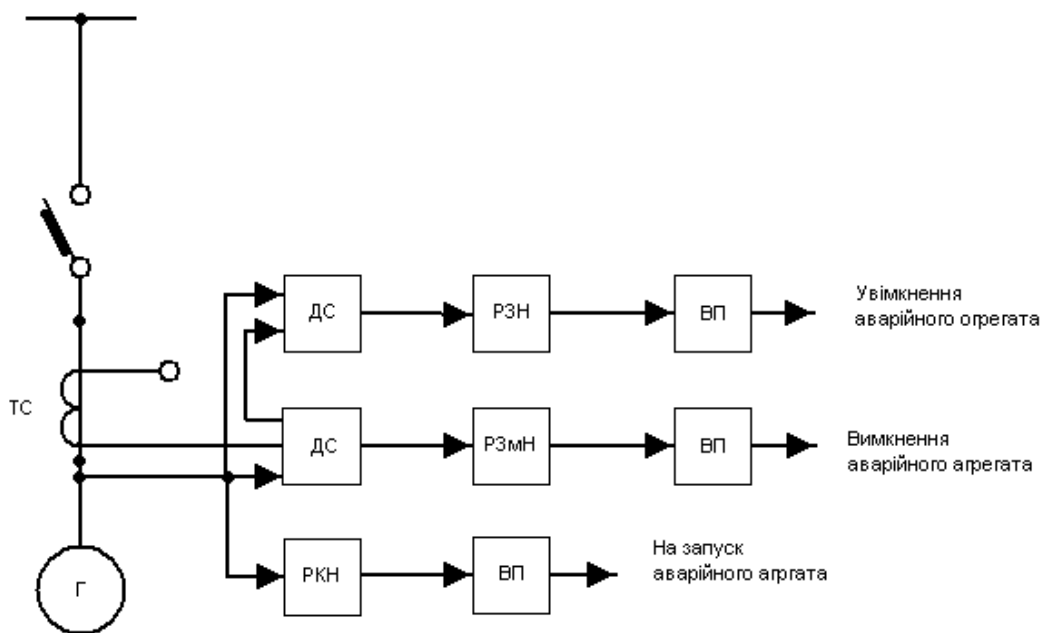


Рисунок 1.1 – Узагальнена структура пристрою автоматичного запуску аварійного дизель-генератора

Датчики активного або повного струму (рис. 1.2) перетворюють активну складову струму генератора I_{Γ} в у постійну напругу на виході $U_{\text{вих}}$ і, на виконаний у вигляді мосту опорів R1-R4. На одну діагональ мосту подається напруга генератора U_{Γ} , а з іншої діагоналі напруга виходу $U_{\text{вих}}$ знімається на електронне реле РЗН і РЗМН.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

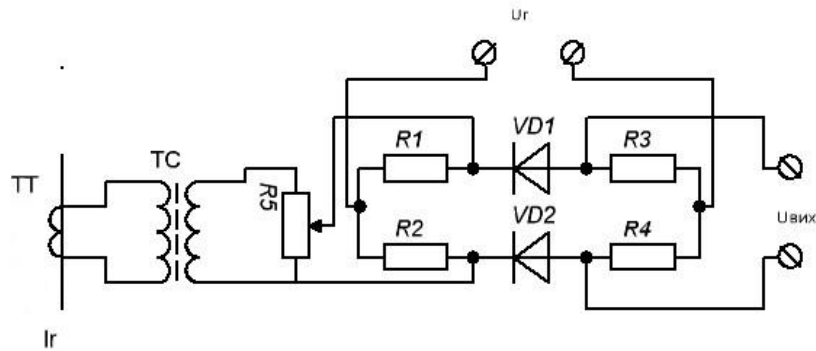


Рисунок 1.2 – Схема датчика активного струму

Випрямлячі VD1, VD2 випрямляють струм, обумовлений напругою генератора U_r , а по опорах R1, R2 проходить струм трансформатора струму ТТ $I_{T1}=I_{T2}$.

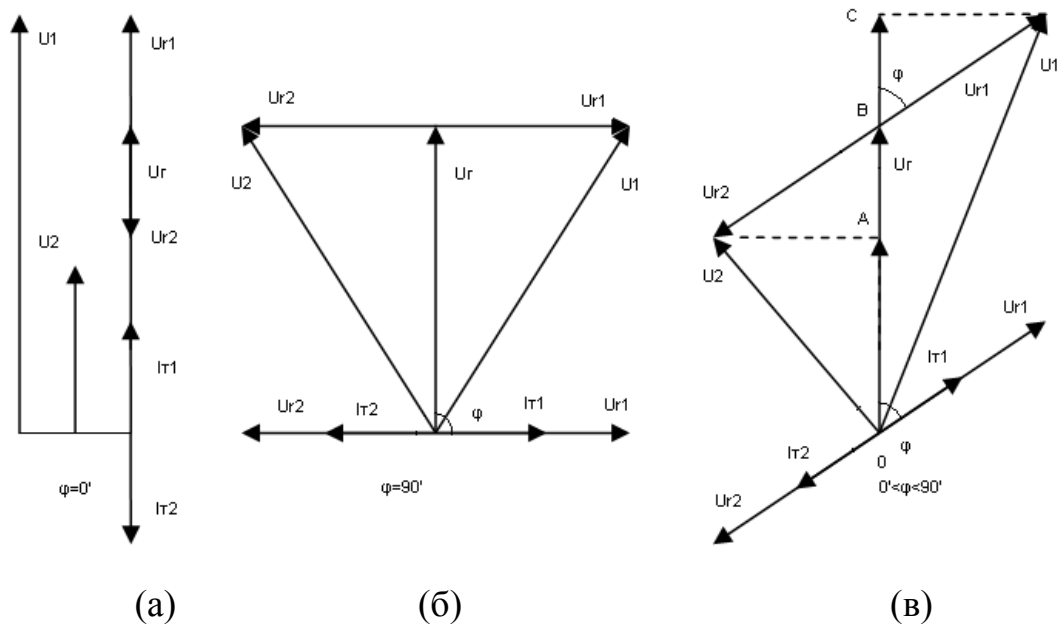


Рисунок 1.3 – Векторні діаграми напруг активного струму

При холостому ході генератора ($I_r=0$) міст збалансований, напруга $U_{вих}=0$, а при навантаженому судновому генераторі струм трансформатора струму порушує баланс мосту. Протікаючи через опори R1 і R2, цей струм створює падіння напруг U_{R1} і U_{R2} , які складаються з падіннями напруг на даних резисторах, обумовленими напругою суднового генератора.

Якщо напруга трансформатора струму зрушена стосовно напруги генератора на кут $\varphi=90^\circ$, як показано на рис. 1.3, б, та напруга U_1 , U_2

ланцюгів з опорами R_1 , R_2 рівні по величині й збільшуються однаковою мірою, а тому напруга на виході датчика дорівнює нулю.

При коефіцієнті потужності навантаження, коли $\varphi=0^\circ$ і $\varphi<90^\circ$ (рис. 1.3, а, в), виникає дисбаланс мосту й напруга на виході буде визначатися різницею напруг U_1 , U_2 .

Якщо напруга U_{R1} і U_{R2} мала в порівнянні з напругами U_1 і U_2 , то відрізок $OC \approx U_1$, а відрізок $OA \approx U_2$. Тоді:

$$U_1 = U_r + U_{R1} \cos \varphi;$$

$$U_2 = U_r - U_{R1} \cos \varphi;$$

Одержимо

$$U_{\text{вих}} = U_1 - U_2 = 2 U_{R1} \cos \varphi = k I \cos \varphi = k I_a,$$

де I_a - активна складова струму суднового генератора;

k - коефіцієнт пропорційності.

Таким чином, напруга на виході датчика струму пропорційна активній складовій струму суднового синхронного генератора. Точність вираження активної складової струму тим вище, чим більше напруга, подана на міст від генератора.

Схема реле збільшення навантаження представлена на рис. 1.4. При підвищенні навантаження понад уставки реле РЗН спрацьовує й посилає імпульс на включення аварійного агрегату.

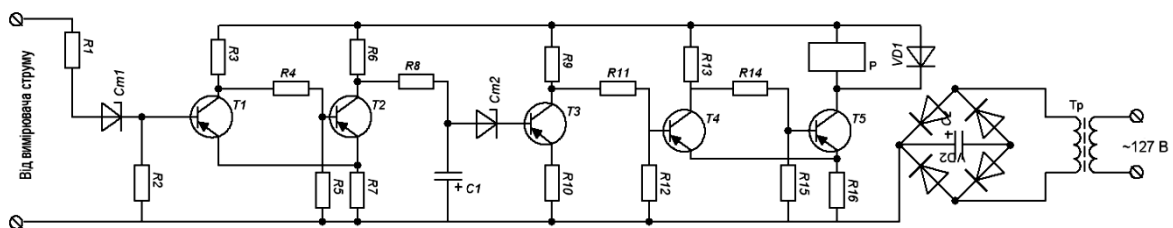


Рисунок 1.4 – Схема реле збільшення навантаження

При нормальному навантаженні генератора транзистор T_1 закритий, тому що струм через його перехід емітер - база виникає тільки під дією вихідної напруги вимірника струму. Величина цієї напруги визначається напругою пробією стабілітрона $Ст1$. Якщо транзистор T_1 закритий, то з його

колектора до бази транзистора Т2 подається негативний стосовно емітеру цього транзистора потенціал і через перехід емітер - база транзистора Т2 тече струм. Підбираючи опір, домагаються повного відкриття транзистора Т2, при цьому спадання напруги на опорі зворотного зв'язку R7 є замикаючим для транзистора Т1. Тоді конденсатор С1 буде шунтованим транзистором Т2 і невеликим опором зворотного зв'язку R7, напруга на його затискачах буде малою. Стабілітрон Ст2 не пропускає струм через перехід емітер - база транзистора Т3. Отже на переході емітер - база транзистора Т4 напруга достатня для його відкриття. Оскільки транзистор Т4 відкритий, транзистор Т5 закритий. При цьому струм через вихідне реле Р1 практично дорівнює нулю.

При перевантаженні генератора й підвищенні напруги на виході датчика струму до значення, що перевищує напругу пробою стабілітрона Ст1, транзистор Т1 відкривається, а транзистор Т2 закривається. Конденсатор С1 починає заряджатися через опір R6, R8, створюючи витримку часу. Коли напруга на конденсаторі С1 буде дорівнює величині пробивної напруги стабілітрона Ст2 транзистор Т3 відкривається, шунтуючи перехід емітер - база транзистора Т4. Транзистор Т5 відкривається, і реле Р1 спрацює. Зі зменшенням навантаження генератора всі транзистори перемикаються у вихідне положення в тім же порядку, що й при включенні. Живлення електронне реле одержує від трансформатора Тр із випрямлячем і конденсатором фільтра.

Схема реле зниження навантаження РЗмН відрізняється від схеми реле РЗН тільки тим, що під час нормальної роботи генератора реле перебуває у включеному стані. Зниження навантаження до величини уставки викликає відпадання реле із прийнятою витримкою часу. Стабілітрон Ст2 включається замість опору R8, а R8 включається замість стабілітрона Ст2 Крім того, у ланцюзі бази транзистора Т3 установлюється стабілітрон Ст3 для надійного запирання цього транзистора.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Вихідна напруга датчика активного струму подається на реле зниження навантаження через стабілітрон Ст1. При навантаженнях генератора, що перевищують уставку спрацьовування реле (8,5-9,5 В), стабілітрон Ст1 пробивається, транзистор Т2 заціпається, конденсатор С1 заряджається. З незначною витримкою часу відмикається транзистор Т3, закривається транзистор Т4 і відмикається транзистор Т5. Спрацьовує реле Р1, утримуючи замикаючий контакт у замкнутому стані.

При зниженні навантаження генератора нижче величини уставки реле закривається стабілітрон Ст1 і транзистор Т1, але відмикається транзистор Т2. напруга емітер - колектор транзистора Т2 зменшується майже до нуля й конденсатор С1 протягом 5-8 секунд розряджається. Тоді закривається транзистор Т3, відмикається транзистор Т4 і закривається транзистор Т5. Реле Р1 знеструмлюється, і його замикаючий контакт подає імпульс на зупинку резервного або аварійного агрегату.

1.4. Огляд засобів автоматизації, що використовуються на судах

Компанією Selco створені пристрої, які виконують функції контролю за станом мережі. Система розподілу навантаження (T4900 VAr Load Sharer) має наступні характеристики: автотамичне розподілення навантаження реактивної потужності, здатність контролю напруги, 2-провідний зв'язок з іншими пристроями розподілу навантаження T4900, контроль коефіцієнта потужності при паралельній роботі в мережі, здатність розвантаження та відключення навантаження, візуальна індикація напруги, сигналів збільшення, зменшення та розвантаження, рентабельна, надійна та компактна конструкція, робоча температура від -20° до $+70^{\circ}$.

На рис. 1.5 представлено зовнішній вигляд системи розподілу навантаження між паралельно працюючими генераторами, а на рис. 1.6 представлено схему підключення цієї системи до судового синхронного генератора.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		19

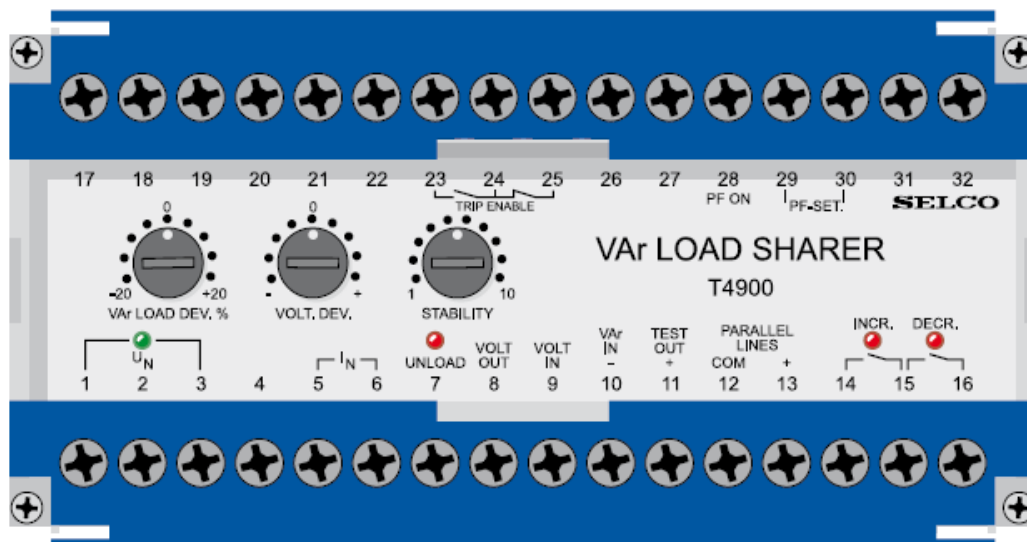


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд пристрою

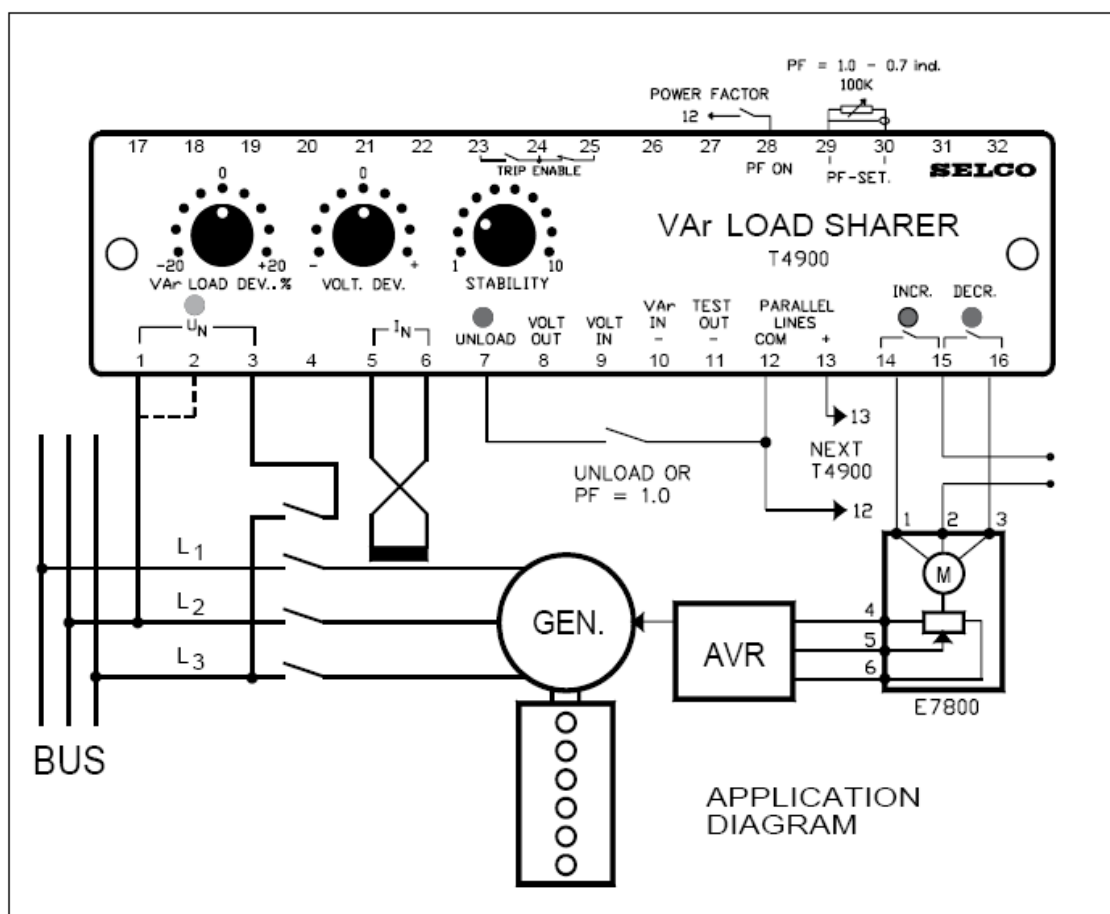


Рисунок 1.6 – Схема включення системи розподілу навантаження T4900

Вхідними сигналами в пристій є напруга та струм, з яких визначається реактивна потужність. T4900 розраховує коефіцієнт потужності ($\cos\phi$).

На рис. 1.7 представлено зовнішній вигляд регулятора коефіцієнту потужності.



Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд регулятора коефіцієнта потужності

Регулятор коефіцієнту потужності DCRK є цифровим пристроєм, який виконує функції контролю та регулювання коефіцієнту потужності системи та здійснює зчитування показників коефіцієнту потужності з високою точністю, на яку не впливають можливі зміни властивостей електронних компонентів.

Алгоритм контролю, який використовується, забезпечує справну роботу пристрою зокрема в системі, яка характеризується високим коефіцієнтом гармонік. Коефіцієнт потужності системи регулюється групою конденсаторів, які перемикаються, виходячи з розрахованої реактивної потужності системи своєчасно та точно. Результатом цього являється різке скорочення кількості перемикачів і більш однорідне використання конденсаторних батарей з однаковими ваговими коефіцієнтами.

Модуль С6200 представляє собою комбінований синхронізатор і розподільник навантаження для паралельно працюючих генераторів. Даний модуль можна використовувати будь-де, де необхідно забезпечити роботу генераторів в паралель один з другим чи з енергосистемою. В модулі С6200

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

два комплекти виходів керування синхронізацією і розподілом активним навантаженням (кВт).

Якщо двигун забезпечено електронним регулятором швидкості, для керування швидкістю використовується аналоговий вихід. Вихідним сигналом може бути сигнал струму, напруги чи ШІМ-сигнал. Можна запрограмувати тип та рівень вихідних сигналів, так що вони будуть адаптовані до практично будь-яких типів регуляторів, які пропонуються на ринку, таким як GAC чи Woodward. В іншому випадку, коли бажано керувати швидкістю через привідний потенціометр чи сервомотор традиційного регулятора швидкості, можна використовувати комплект виходів з відкритим колектором.

До функцій пристрою відносяться:

- комбінований синхронізатор та розподільник навантаження;
- синхроскоп на передній панелі;
- захист від зворотної потужності;
- захист від втрати збудження;
- вісім допоміжних програмованих входів та виходів;
- інтерфейс MODBUS RS485;
- шина CAN для допоміжного інтерфейсу користувача;
- пряме керування електронним регулятором швидкості обертання;
- імпульсні вихідні сигнали «збільшити/зменшити» для керування швидкістю обертання та напругою.

На рис. 1.8 показано зовнішній вигляд пристрою.

					171.6321M.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

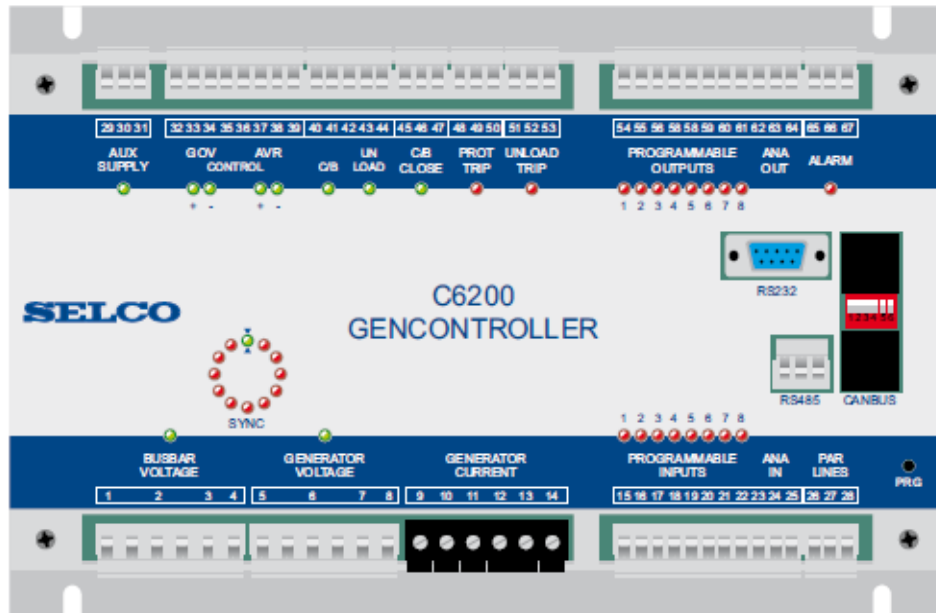


Рисунок 1.8 – Передня панель C6200

В модулі C6200 два комплекти виходів керування напругою, через які здійснюється керування напругою та розподілом реактивної навантаження (кВАр). Автоматичний регулятор напруги (АРН) чи синхронний генератор змінного струму можуть керуватися за допомогою аналогового сигналу (сигнал напруги, струму чи ШІМ-сигнал). Можна запрограмувати тип та рівень вихідних сигналів, так що вони будуть адаптовані до практично будь-яких типів регуляторів, які пропонуються на ринку. У випадку. Коли для керування АРН використовується привідний потенціометр, треба використовувати комплект виходів з відкритим колектором. Виходи з відкритим колектором тоді будуть керувати реле, які керують привідним потенціометром.

Висновки до розділу

У розділі представлено аналітичний огляд наявних систем аварійного запуску суднових дизель-генераторів. Розглянуто вимоги до систем резервного живлення, а також споживачів, які повинні отримувати енергію від аварійного дизель-генератора. Наведено узагальнену структурну схему пристрою автоматичного запуску аварійного дизель-генератора та

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

проаналізовано схеми, що використовуються в такій системі. Дослідження показало, що впровадження мікропроцесорних засобів дозволяє перенести частину задач з апаратного рівня на програмний, що, у свою чергу, дає змогу зменшити масогабаритні показники системи та підвищити її надійність. Крім того, це відкриває можливості для реалізації більш складних алгоритмів управління, що покращить експлуатаційні характеристики системи.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Редька І.В.			Обґрунтування розроблювальної системи автоматичного пуску аварійного суднового ДГА	Літ.	Арк.	Архив
Консультант							25	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПУСКУ АВАРІЙНОГО СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

2.1. Функціональна схема системи, вибір датчиків та елементної бази

Система автоматичного запуску аварійного судового дизель-генератора є критично важливим компонентом для забезпечення стабільної роботи електромережі судна. Її завдання полягає в ініціації запуску допоміжних двигунів (маслоперекачувального та паливного), стартера, що відповідає за пуск дизельного приводу, а також у контролі виходу генератора на номінальний режим роботи та підключенні його до навантаження.

Ключовим елементом системи пуску судового аварійного дизель-генератора є мікроконтролер, який забезпечує виконання всіх необхідних алгоритмів для її функціонування. Його використання обґрунтовано низкою переваг порівняно з попередніми рішеннями:

1. Уніфікація системи: основні керуючі ланки інтегровані безпосередньо в мікроконтролер.
2. Підвищення надійності: зменшення кількості компонентів знижує ризик відмови.
3. Гнучке налаштування: режими роботи можна змінювати програмно, без заміни обладнання.
4. Функція самодіагностики: система здатна самостійно перевіряти свій стан.

Структура системи включає не лише мікроконтролер, але й датчики, які встановлюються на дизельному двигуні та контролюють його основні параметри:

- Температура охолоджувальної рідини на вході та виході двигуна.
- Температура масла в системі змащування на вході та виході.
- Тиск у системі змащування.
- Реле для контролю обертів двигуна.
- Моніторинг напруги в електромережі судна.

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Виконавчі елементи системи керування включають комутаційні пристрої, які виконують команди:

- Реле запуску масляного насоса.
- Реле керування двигуном паливної рейки.
- Реле стартера.
- Реле для ввімкнення навантаження.

Для відображення стану системи використовується блок індикації, який показує ключові параметри роботи.

Функціональна схема системи представлена на рис. 2.1

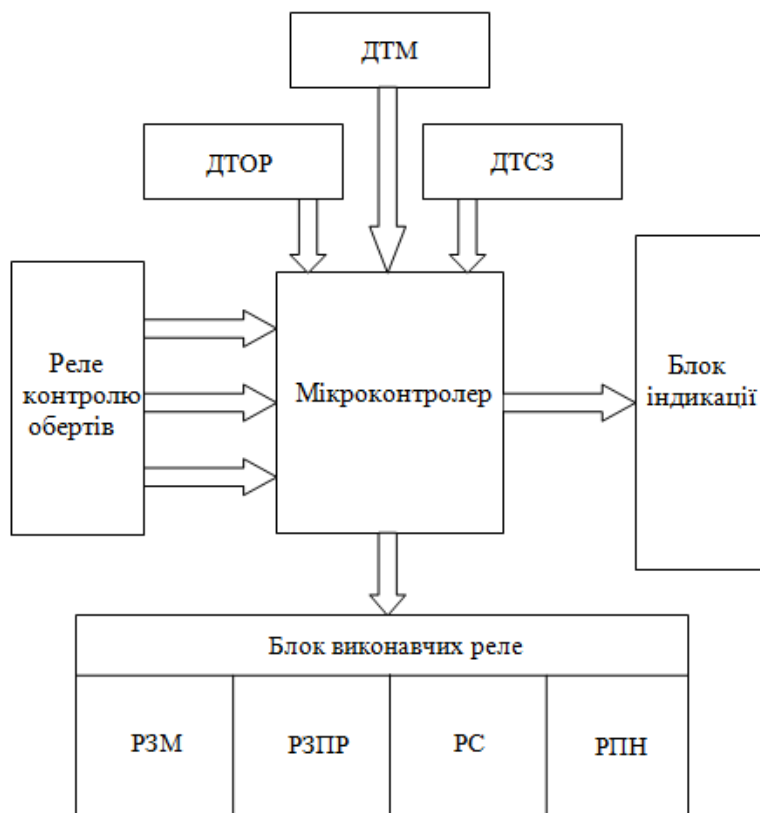


Рисунок 2.1 – Функціональна схема системи автоматичного пуску аварійного дизель-генератора

На рисунку використано наступні позначення: ДТОР – датчик температури охолоджуючої рідини; ДТМ – датчик температури масла; ДТСЗ – датчик тиску системи змащування; РЗМ – реле запуску двигуна масляного насоса; РЗПР – реле запуску двигуна паливної рейки; РС – реле стартера; РПН – реле пуску роботи генератора на навантаження.

Контроль параметрів роботи електростанції здійснюється за допомогою датчиків. У разі відхилення від заданих значень система або подає сигнал тривоги, або автоматично зупиняє дизель-генератор для запобігання аварійним ситуаціям.

Для підвищення надійності система умовно розділена на кілька підсистем (блоків). Це рішення дозволяє швидко виявити та усунути несправність у разі виходу з ладу окремого блоку. Така модульна структура робить систему більш зручною для обслуговування та оптимізує її функціонування.

Система "двигун-генератор" має складну конструкцію та в певних режимах може втрачати керованість, що створює ризик пошкодження як дизельного двигуна, так і синхронного генератора. Для запобігання таким ситуаціям у систему інтегровані датчики, які контролюють ключові параметри. Вони поділяються на дві основні групи.

Перша група контролює робочі параметри приводного двигуна, серед яких:

- Температура охолоджувальної рідини.
- Температура та тиск у системі змащування.

Робоча температура в системах охолодження та змащування коливається в межах 5–120°C, тоді як тиск у системі змащування не повинен опускатися нижче 1,7 кг/см². Враховуючи ці вимоги, було обрано реле тиску та температури КРМ-ОМ5. Це реле має перевагу в тому, що може реагувати як на підвищення, так і на зниження тиску під час роботи.

Зовнішній вигляд цього реле представлений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд реле КРМ-ОМ5

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Друга група датчиків представлена реле контролю обертів. У даній системі використовується РКО-1500-220-24, призначене для моніторингу обертів зв'язки двигун-генератор. Основне завдання цього реле – забезпечувати контроль швидкості обертання для своєчасного перемикання режимів роботи, зокрема введення аварійного джерела живлення у разі потреби. Це гарантує стабільність роботи системи навіть у нештатних ситуаціях. Зовнішній вигляд реле наведено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд реле контролю обертів РКО-1500-220-24

Робота системи "двигун-генератор" проходить через кілька ключових етапів, що визначаються швидкістю обертів зв'язки. Кожен з цих етапів вимагає відповідних дій для забезпечення безпеки та стабільності роботи:

- 800 об/хв – Двигун запустився. На цьому етапі знімається напруга з реле стартера, а також вимикаються реле пуску маслоперекачувального насоса та паливної рейки.
- 1500 об/хв – Двигун досяг номінальних обертів, і генератор готовий до роботи під навантаженням. Система надсилає команду на реле ввімкнення навантаження.
- 1800 об/хв – Досягнуто критичних обертів, що свідчить про небезпечний розгін системи. У цьому режимі система негайно зупиняє двигун, щоб уникнути пошкоджень.

Такий алгоритм контролю обертів дозволяє не тільки підтримувати безпечну роботу, але й оперативно реагувати на критичні ситуації.

Виконавчі елементи системи включають такі реле:

- Реле запуску двигуна масляного насоса.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

- Реле запуску двигуна паливної рейки.
- Реле стартера.
- Реле пуску генератора для роботи під навантаженням.

Важливим критерієм є відповідність реле вимогам щодо комутаційних струмів.

- Реле стартера повинне витримувати струм комутації до 250 А.
- Реле пуску генератора на навантаження має забезпечувати роботу з струмом до 300 А.

Отже, для забезпечення надійної та безпечної експлуатації необхідно обирати реле з відповідними характеристиками, здатними витримувати зазначені струмові навантаження.

2.2. Розробка принципової схеми та друкованої плати системи

На вході системи встановлено DC-DC перетворювач, який забезпечує стабільне живлення. Він працює в діапазоні вхідної напруги від 17 до 36 В, а на виході видає стабільну напругу +5 В.

Вибір цього перетворювача був обґрунтованим, оскільки він гарантує надійну роботу системи живлення. На відміну від класичних дільників напруги, DC-DC перетворювачі забезпечують ефективну передачу енергії без значних втрат потужності на активних компонентах. Це підвищує загальну ефективність та стабільність системи.

Принципова схема блоку живлення наведена на рисунку 2.4.

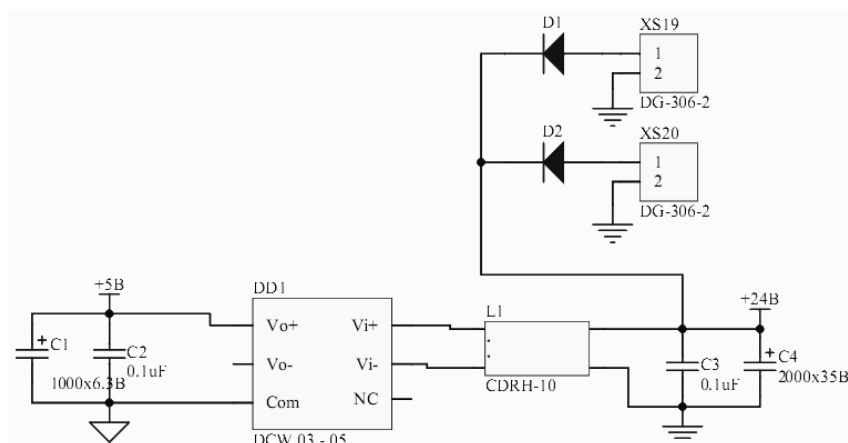


Рисунок 2.4 – Принципова схема блоку живлення

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		30

Згідно з вимогами Морського реєстру, система живлення повинна бути підключена до трьох незалежних джерел. У нашому випадку це

- Суднова електромережа.
- Дві автономні акумуляторні батареї, незалежні одна від одної.

Для забезпечення стабільної вхідної напруги та мінімізації пульсацій у схемі використані фільтрувальні конденсатори:

- C1 – 1000 мкФ (електролітичний).
- C4 – 2000 мкФ (електролітичний).
- C2 і C3 – по 1 пФ (керамічні).

На вході також встановлено фільтр L1, який згладжує струм і забезпечує зниження електромагнітних перешкод. Це рішення гарантує надійне живлення системи навіть при коливаннях напруги чи сторонніх імпульсах, що можуть виникати в електромережі.

На вхід системи подаються такі сигнали керування та контролю:

- Кнопка «Розблокування» – використовується для відновлення роботи системи після зупинки або аварії.
- Тумблер «Захист вкл/викл» – керує активацією або відключенням захисних механізмів.
- Тумблер «Робота/Самотестування» – перемикає систему між штатним режимом і режимом самодіагностики.
- Кнопка «Ручний пуск» – ініціює запуск системи вручну.
- Кнопка «Стоп» – забезпечує аварійну зупинку системи.
- Датчик паливної рейки – контролює подачу палива.
- Датчик аварійної температури води – сигналізує про перегрів двигуна.
- Датчик попереджувального тиску масла – інформує про низький тиск, який може стати критичним.
- Датчик аварійного тиску масла – подає сигнал при небезпечному падінні тиску.

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Контакт реле швидкості «1650» (рознос) – сигналізує про критичні оберти для екстреної зупинки.
- Контакт реле швидкості «1350» (включення на навантаження) – вказує, що система готова до роботи під навантаженням.
- Контакт реле швидкості «500» (вимкнення стартера) – сигналізує про успішний запуск і необхідність відключення стартера.

Схема блоку зчитування вхідних сигналів представлена на рисунку 2.5. Цей блок збирає та обробляє всі сигнали, забезпечуючи правильну послідовність дій та своєчасне реагування системи на зміни параметрів.

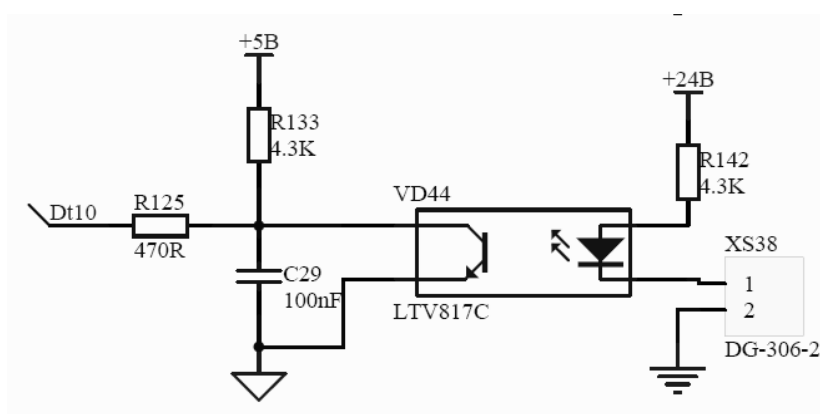


Рисунок 2.5 – Блок зчитування вхідної інформації

Оскільки в система має 12 однакових блоків вхідної інформації, то має місце представити один з них, всі інші аналогічні.

Всі вхідні сигнали в системі виконують роль ключових режимів роботи. Для забезпечення надійної ізоляції та запобігання перешкодам використовується гальванічна розв'язка за допомогою оптопар VD44. Це рішення захищає мікроконтролер від потенційних стрибків напруги та перешкод із зовнішніх ланцюгів. Принцип роботи схеми наступний. Резистор R142 із номіналом 4,3 кОм обмежує струм при замиканні реле, підключеного до входу оптопар. Струм на вході оптопар становить 6 мкА, чого достатньо для її відкриття та подачі сигналу далі. На виході оптопар встановлено фільтр високих частот, який забезпечує очищення сигналу від перешкод. Фільтр складається з резистора R125 (470 Ом), конденсатора C29

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		32

(100 нФ), підключених паралельно. Додатковий резистор R133 із номіналом 4,7 кОм обмежує струм, щоб запобігти перевантаженню схеми.

Після проходження через оптопару та фільтр сигнал надходить на вхід одного з портів мікроконтролера для подальшої обробки. Така конфігурація забезпечує стабільність роботи та надійний контроль кожного з вхідних сигналів.

Схема інтелектуального блоку представлена на рис. 2.6.

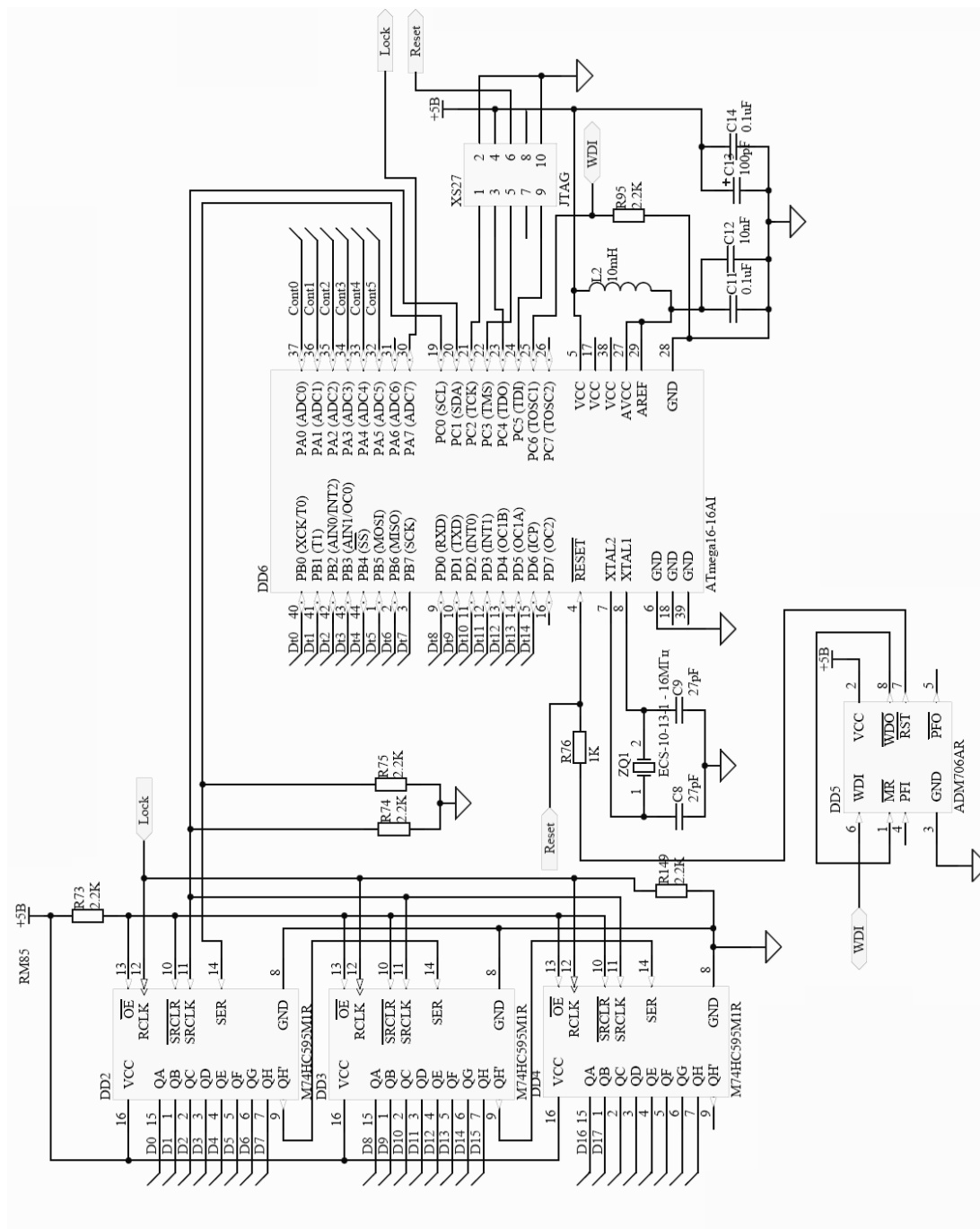
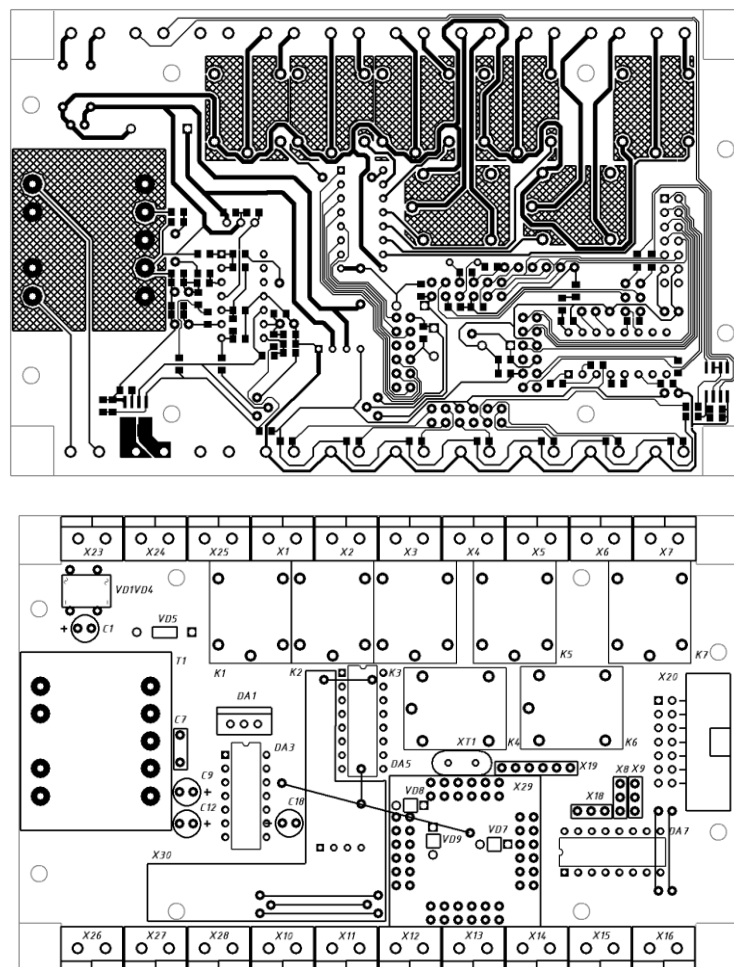


Рисунок 2.6 – Принципова схема інтелектуального блоку представлена

Окрім мікроконтролера та стандартної обв'язки, в системі використовуються регістри (DD2, DD3, DD4) та мультівізер (DD5). Регістри обрані через обмежену кількість виходів на мікроконтролері для блоку режимів роботи та станів системи. У системі застосовані 8-мі бітні регістри зсуву з вихідним блокуванням, які отримують інформацію з мікроконтролера в послідовному форматі. Після подачі сигналу синхронізації дані з виходів регістрів передаються на блок режимів роботи. Для забезпечення стабільної роботи системи також інтегровано супервізор. Він забезпечує живлення мікроконтролера і контролює сигнали з нього: якщо сигнали зникають, супервізор скидає живлення, що призводить до перезавантаження мікроконтролера. Цей пристрій запобігає зависанню системи. З інтелектуального блоку інформація надходить до блоків виконуючих пристроїв, а також до блоку режимів роботи та станів системи.

На рис. 2.7 представлено друковану та монтажну схеми системи.



2.3. Модель для дослідження суднової електроенергетичної системи в аварійних режимах

У зв'язку з тим, що суднова електроенергетична система (СЕЕС) має обмежену потужність, підключення енергоємних споживачів, таких як система розмагнічування корабля або прямий запуск асинхронного двигуна від окремого синхронного генератора, може спричинити неприпустимі провали напруги та частоти в мережі. Час відновлення параметрів може перевищувати допустимі межі, як обґрунтовано в [8]. Це підкреслює необхідність виконання модельних досліджень на етапі проєктування СЕЕС для оцінки її поведінки у динамічних і аварійних режимах та впливу цих процесів на рівень напруги в різних точках мережі.

Комутація навантажень у СЕЕС відбувається імпульсно з випадковим розподілом їх величин та тривалості. Значення комутованих навантажень варіюються від кількох до десятків кіловат. Накладання графіків навантажень з усіх секцій головного розподільного щита (ГРЩ) створює міжкомутаційні інтервали від кількох секунд до хвилин. Частота комутації близька до часу реакції дизель-генераторних агрегатів. Якщо генератори демонструють коливальні властивості, комутація може спричинити «розхитування» системи, що призводить до флуктуацій напруги, активної потужності та частоти. Хоча дослідження цих явищ на основі статистичної обробки експериментальних даних висвітлено в роботах [9, 10], вони не охоплюють моделювання роботи СЕЕС у складних та аварійних умовах.

Для побудови моделі СЕЕС слід використовувати програмні комплекси для аналізу перехідних електромагнітних і електромеханічних процесів у системах електропостачання. Комп'ютерна модель повинна включати всі джерела живлення з їх параметрами, лінії електропередач, трансформатори, реактори, навантаження, а також засоби захисту — автоматичні вимикачі з налаштуваннями спрацьовування. Такі моделі можуть бути корисними для оптимізації розташування розподільної апаратури в щитах керування та для зниження струмів короткого замикання до допустимих значень.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Відповідно до стандарту ISO 50001 “Energy Management Model”, провал напруги (ПН) визначається як раптове зменшення напруги в точці мережі нижче 0,9 номінального рівня U_r , після якого напруга відновлюється до вихідного або близького значення протягом від 10 мілісекунд до кількох десятків секунд. ПН характеризується глибиною, тривалістю та частотою.

Нестабільні провали напруги в мережі доцільно моделювати через теорію викидів випадкових процесів. Це пов'язано з тим, що електронне обладнання демонструє чутливість до зовнішніх впливів, коли рівень перевищує певний поріг U_T , тоді як у межах цього рівня обладнання зберігає необхідну стійкість.

Для вирішення практичних завдань використовують такі вихідні параметри: середня частота викидів f_{AB} за рівень U_T , кількість викидів N_{AB} за час T_B , середня тривалість викидів τ_{AB} , ймовірність перевищення порогу U_T ($P(u_A > U_T)$) та ймовірність викиду в інтервалі Δt . Визначити параметри викидів можливо лише для процесів із диференційованими кореляційними функціями, такими як:

$$R(\tau) = \sigma_U^2 \exp(-\alpha_U |\tau|) (1 + \alpha_U |\tau|)$$

На основі цього можна обчислити середню частоту викидів за формулою:

$$f_{AB} = \frac{\alpha_U}{\sqrt{2\pi}} \varphi(U_T),$$

де

$$\varphi(U_T) = \exp\left(-\frac{U_T^2}{2}\right),$$

$$\tau_A = \frac{P(u > U_T)}{f_{AB}},$$

$$P(u > U_T) = 1 - \int_{-\infty}^{U_T} p(u) du = 1 - \Phi(U_T).$$

Середня кількість викидів за інтервал T_B визначається як:

$$N_B = \frac{T_B}{f_{AB}}.$$

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ці розрахунки дозволяють спрогнозувати параметри електромагнітних перешкод, що можуть впливати на роботу електронної апаратури під час проєктування СЕЕС. Це також допомагає обґрунтувати необхідність застосування більш жорстких заходів для підвищення стабільності параметрів суднової мережі та оптимізувати роботу регуляторів напруги в системі електропостачання.

На рис. 2.8 представлена модель СЕЕС, створена в спеціалізованому пакеті моделювання, і орієнтована для моделювання динамічних та аварійних режимів її роботи, тобто оцінки значень пускових струмів АД та струмів короткого замикання.

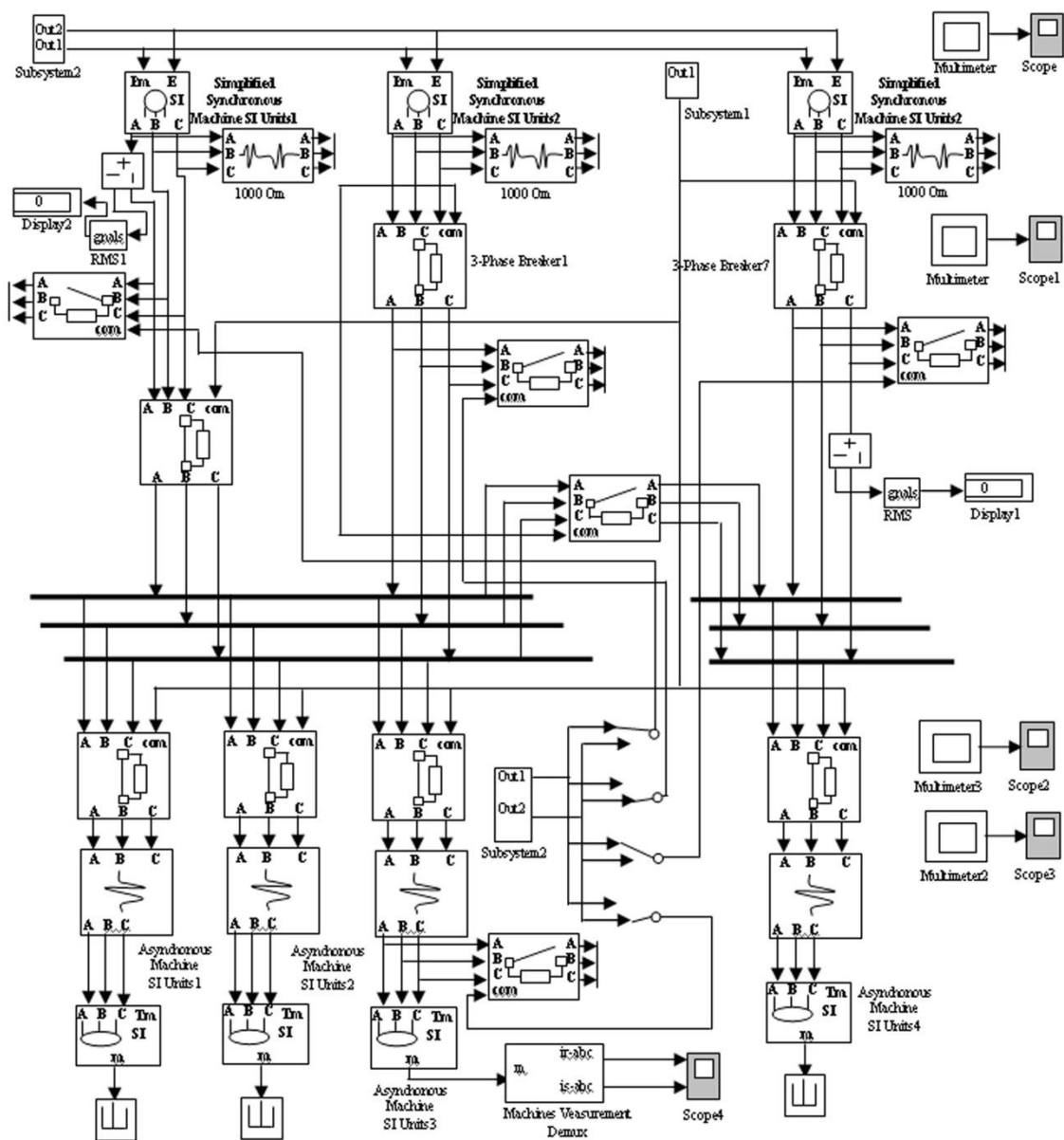


Рисунок 2.8 – Модель суднової електроенергетичної системи

Електростанція містить три 3-х фазні джерела змінної напруги (3-Phase Source) з діючим значенням лінійної напруги 380 В. Джерела працюють на активно-індуктивне трифазне навантаження. Порти моделей А, В і є виводами статорних обмоток машин. Блоки RMS та RMS1 показують діючі значення фазних струмів. На вихідних портах m_SI формуються векторні сигнали, що складаються з 12 елементів: струмів (i_{sa} , i_{sb} , i_{sc}), напруг (v_a , v_b , v_c) та ЕРС (e_a , e_b , e_c) обмотки статора, кутового положення (θ_{tam}) та швидкості ротора (v_m), і електромагнітної потужності (P_e).

Коротке замикання можна моделювати в джерелі напруги, лінії передачі напруги, і безпосередньо на навантаженні. Вибір місця короткого замикання здійснюється за допомогою ручних перемикачів Manual Switch, які з'єднані із блоком Subsystem (сигнал 1 – верхній вивід або 0 – нижній вивід). За допомогою ключів керуючі сигнали подаються на той чи інший блок 3-Phase Fault.

В результаті моделювання роботи СЕЕС були отримані осцилограми напруги та струмів короткого замикання, представлені на рис. 2.9, а. Для порівняння, на рис. 2.9, б, представлені осцилограми струмів і напруг на навантаженні Load1, де коротке замикання було відсутнє.

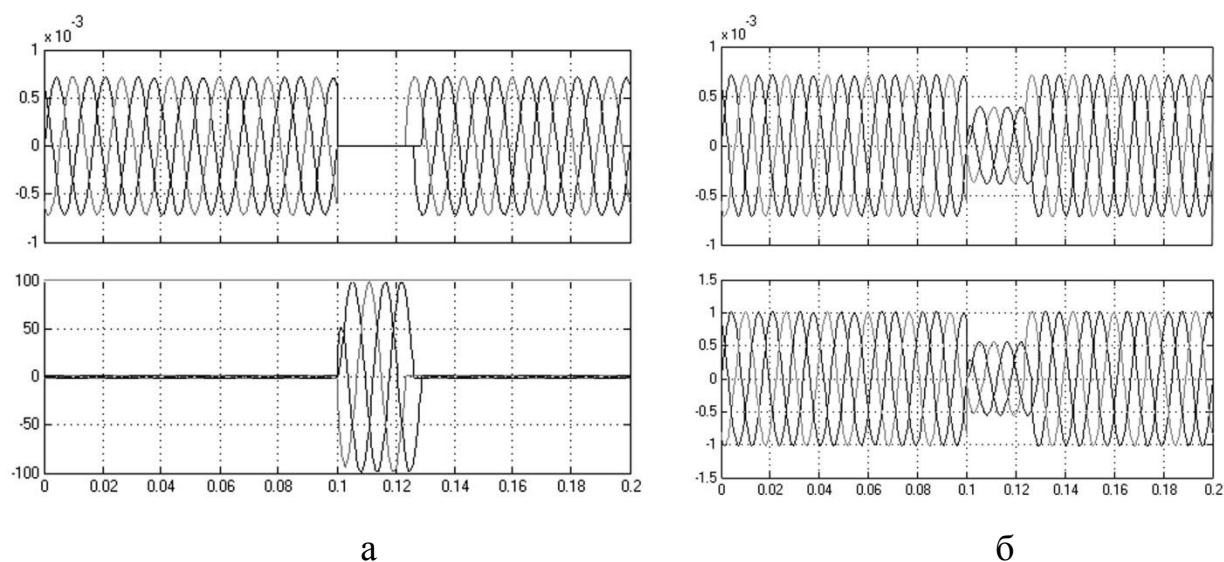


Рисунок 2.9 – Результати моделювання: а – осцилограми напруг і струмів на навантаженні Load3; б – осцилограми струмів і напруг на навантаженні Load1

Мінімізація збитків від провалів напруги досягається комплексом заходів, застосуванням спеціальних швидкодіючих систем захисту та автоматики, впровадженням ефективних структур та методів запуску потужних споживачів електроенергії. Одним з ефективних способів, що вирішує проблеми провалів напруги, є упереджуваче управління збудженням синхронного генератора.

2.4. Розрахунок надійності системи

Для оцінки ймовірності безвідмовної роботи системи необхідно знати показники відмов кожного з компонентів схеми. Дані про потоки відмов елементів системи зібрані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Потоки відмов елементів схеми

Елементи	$\lambda_i \cdot 10^5$, годин ⁻¹	кількість
Напівпровідникові прилади	0,5	72
Резистори	0,25	139
Конденсатори	0,15	32
Кварц	0,03	1

Загальна інтенсивність відмов елементів визначається за виразом:

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n n_i \cdot \lambda_i, \quad (2.1)$$

де n_i – кількість елементів, λ_i – інтенсивність потоку відмов елементів схеми.

$$\lambda_0 = 0,5 \cdot 72 + 0,25 \cdot 139 + 0,15 \cdot 32 + 0,03 = 75,58 \cdot 10^{-5} \text{ (год.}^{-1}\text{)}.$$

Середня тривалість безперебійного функціонування системи дорівнює:

$$m_t = \frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{75,58 \cdot 10^{-5}} = 1323 \text{ (год.)}.$$

Вірогідність безперебійної роботи системи розраховується за рівнянням:

$$P(t) = e^{-\lambda_0 \cdot t}. \quad (2.2)$$

Час безперебійної роботи системи визначається при вірогідності безвідмовної роботи, що дорівнює 0,25. Виходячи з наведеного виразу, тривалість безвідмовної роботи системи визначається за виразом:

$$t = -\frac{1}{\lambda_0} \cdot \ln(P), \quad (2.3)$$

$$t = -\frac{1}{36,23 \cdot 10^{-5}} \cdot \ln(0,25) = 1834 \text{ (год.)}.$$

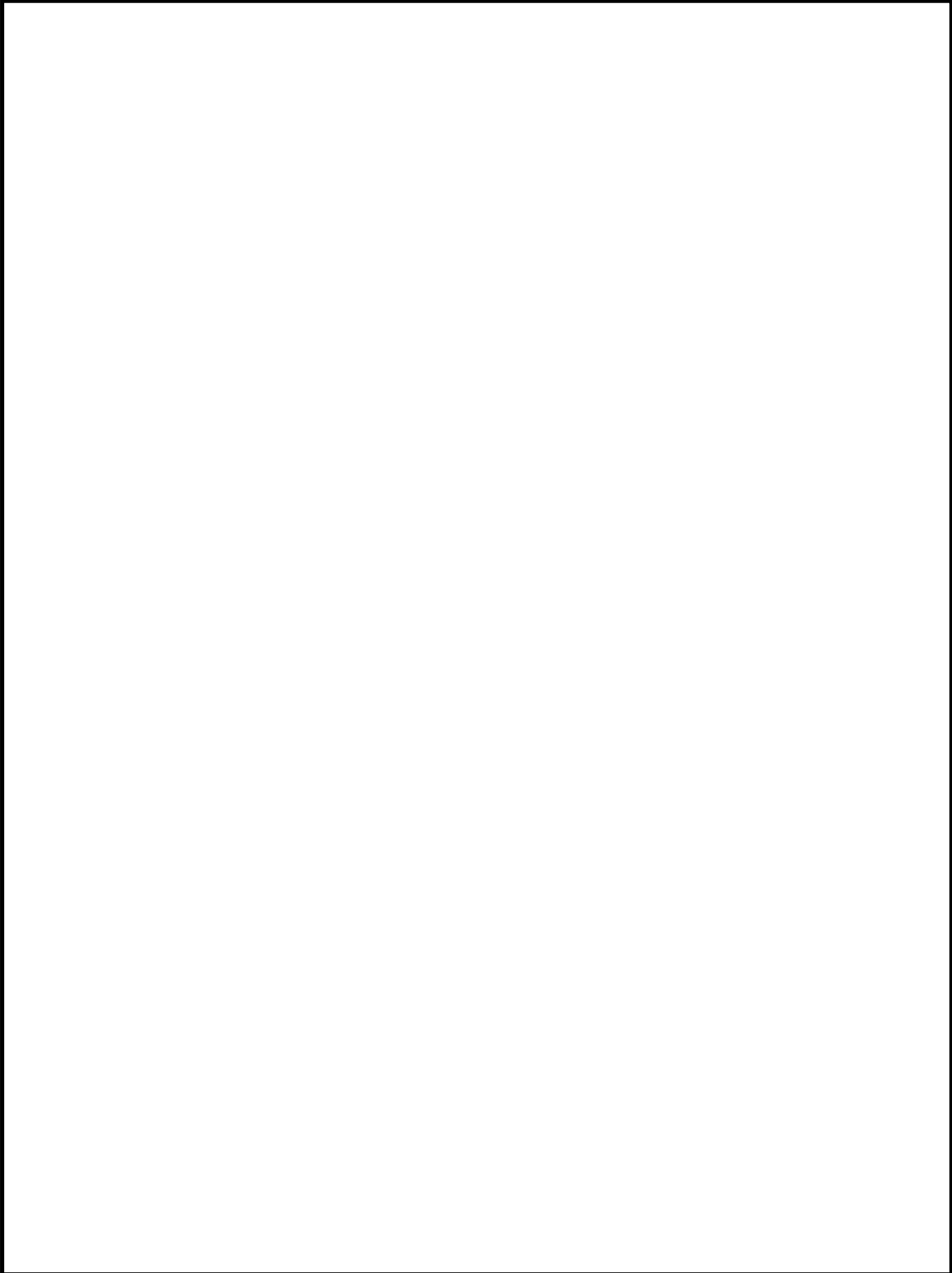
За результатами розрахунків, час безвідмовної роботи становить 1834 години, що приблизно відповідає трьом місяцям безперервної експлуатації.

Висновки по розділу

Розроблено структурну, принципову та монтажну схеми системи автоматичного запуску аварійного суднового дизель-генератора. Створено модель СЕЕС, яка включає три синхронні генератори та активно-індуктивне навантаження. Ця модель забезпечує можливість аналізу струмів короткого замикання та пускових струмів енергоємних споживачів, зокрема асинхронних двигунів. Виконано симуляцію режиму короткого замикання та процесу прямого запуску потужного асинхронного двигуна, а також досліджено їхній вплив на рівень напруги в мережі СЕЕС.

Показано, що для точного розрахунку параметрів провалів напруги необхідно враховувати реальну топологію та структуру енергосистеми разом із режимами функціонування електрообладнання. Запропонована модель суднової електростанції досить точно відтворює її характеристики, що дозволяє не лише визначати значення напруг, струмів і потужностей у різних точках мережі, а й аналізувати відхилення цих параметрів від нормативних значень.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Програмно- алгоритмічний комплекс системи	Літ.	Арк.	Аркуші
Розробник		Редька І.В.					41	
Консультант								
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНИЙ КОМПЛЕКС СИСТЕМИ

3.1. Розробка алгоритму програми для мікроконтролера

Програмне забезпечення системи автоматичного запуску аварійного суднового дизель-генератора розроблено на основі структурного підходу із використанням функціональної декомпозиції та виконуваного коду. Основний модуль побудовано за логікою: "Отримати подію – обробити подію".

Паралельно з виконанням основної програми асинхронно обробляються апаратні зовнішні переривання. У цих випадках мікроконтролер переходить у визначений режим роботи, який відстежується через прапор стану. Контролер постійно оновлює цей прапор, що дозволяє у будь-який момент точно знати поточний режим системи та забезпечувати відповідну реакцію програми.

Оскільки мікроконтролер є ключовим елементом всієї системи, її працездатність безпосередньо залежить від надійності та коректності програмного забезпечення. Програма контролера автоматичного запуску має забезпечувати повний контроль над процесами управління.

У таблиці 3.1 наведено перелік вхідних та вихідних сигналів контролера, їх тип, номер відповідного виводу та опис функціонального призначення.

Таблиця 3.1 – Вхідні та вихідні сигнали контролера

Тип сигналу	Опис	Назва (номер) виводу	Напрямок виводу
Постійний $0-U_{ж}$	Вкл./викл. світлової індикації	РА0	Вихід
Постійний $0-U_{ж}$	Вкл./викл. масляний насос	РА1	Вихід
Постійний $0-U_{ж}$	Вкл./викл. паливний насос	РА2	Вихід
Постійний $0-U_{ж}$	Вкл./викл. стартер	РА3	Вихід
Постійний $0-U_{ж}$	Вкл./викл. підключення роботи на навантаження	РА4	Вихід

Постійний 0- $U_{ж}$	Вкл./викл. автомат стоп. пристрою	PA5	Вихід
Імпульс	Синхроімпульс для реєстрів зсуву	PA7	Вихід
імпульси	Послідовний сигнал для реєстрів зсуву	PC0	Вихід
імпульси	Послідовний сигнал для реєстрів зсуву	PC1	Вихід
імпульси	Для супервізора	PC6	Вихід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з кнопки розблокування	PB2	Вихід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з тумблера „захист вкл./викл.”	PB3	Вхід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з тумблера „робота/самотестування”	PB4	Вхід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з кнопки „ручний запуск”	PB5	Вхід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з кнопки „зупинка”	PB6	Вхід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з сенсора паливної рейки	PB7	Вхід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з сенсора аварійної температури води	PD1	Вхід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з сенсора попереджувального тиску масла	PD2	Вхід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з датчика аварійного тиску масла	PD3	Вхід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з контакту реле швидкості „1650”	PD4	Вхід
Постійний 0- $U_{ж}$	Сигнал з контакту реле швидкості „1350”	PD5	Вхід

До функцій системи відносяться:

- відслідковування стану електромережі судна;
- запуску дизель-генератора;
- відслідковування стану роботи дизель-генератора;
- підключення генератора до мережі на орботу в навантаження;

світлова індикація процесу;

Блок-схема головного циклу програми представлена на рис. 3.1.

					171.6321M.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

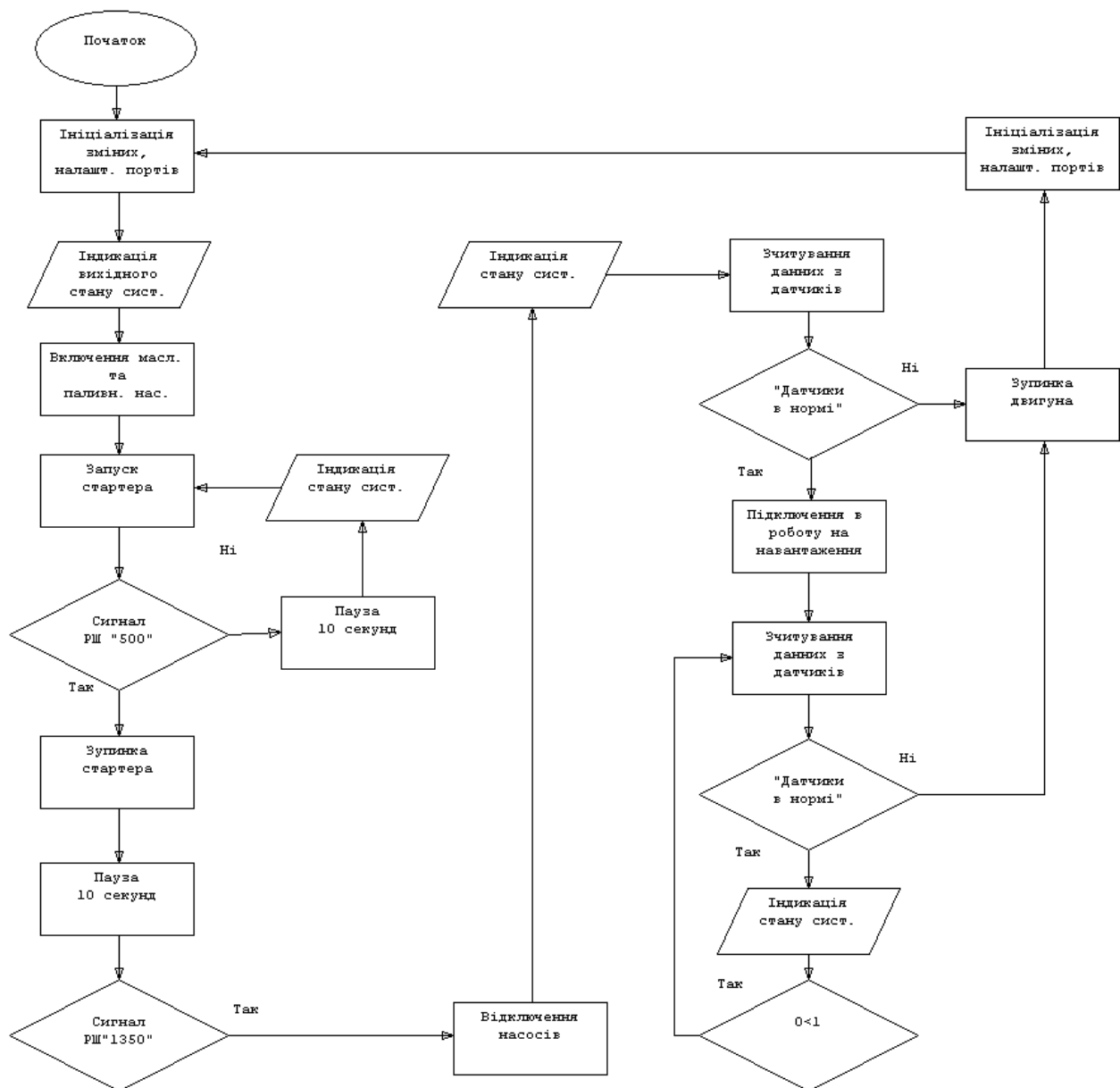


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи програми

Перший крок виконання програми – ініціалізація регістрів та зчитування вхідних даних про стан системи.

На наступному етапі, якщо параметри системи дозволяють запуск дизель-генератора, активуються масляний і паливний насоси. Після невеликої паузи надсилається команда на запуск стартера.

Паралельно з запуском стартера відбувається зчитування сигналу з реле швидкості «500». Якщо на контакті «500» з'являється напруга, стартер вимикається. У разі відсутності цього сигналу протягом 3 секунд стартер

автоматично зупиняється. Через паузу в 10 секунд виконується повторний запуск стартера. Загальна кількість спроб – три запуску.

Якщо система отримує сигнал з реле швидкості «500», виконується індикація поточного стану шляхом відправлення пакета даних на регістри у послідовному форматі.

Далі програма зчитує сигнал з реле швидкості «1350». Якщо сигнал присутній, відбувається вимкнення масляного та паливного насосів, а також передача чергового пакета даних на регістри.

Заключний етап алгоритму полягає у введенні генератора в режим роботи під навантаженням. Для цього після 10-секундної паузи (після вимкнення насосів) на вихід RA4 надсилається сигнал для підключення генератора до мережі.

Після цього програма переходить у постійний цикл моніторингу. В цьому режимі здійснюється безперервне зчитування даних з датчиків стану приводного двигуна. Якщо виявлено відхилення від нормального режиму роботи, система спочатку подає сигнал тривоги. Якщо проблему не усунуто, система переходить у стан аварійної зупинки.

Лістинг програми представлений в Додатку А.

3.2. Блок-схеми алгоритмів окремих функцій, виконуваних системою

На рис. 3.2 та рис. 3.3 представлені алгоритми управління релейними виходами та переходу програми до стану «Робота в мережі»

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

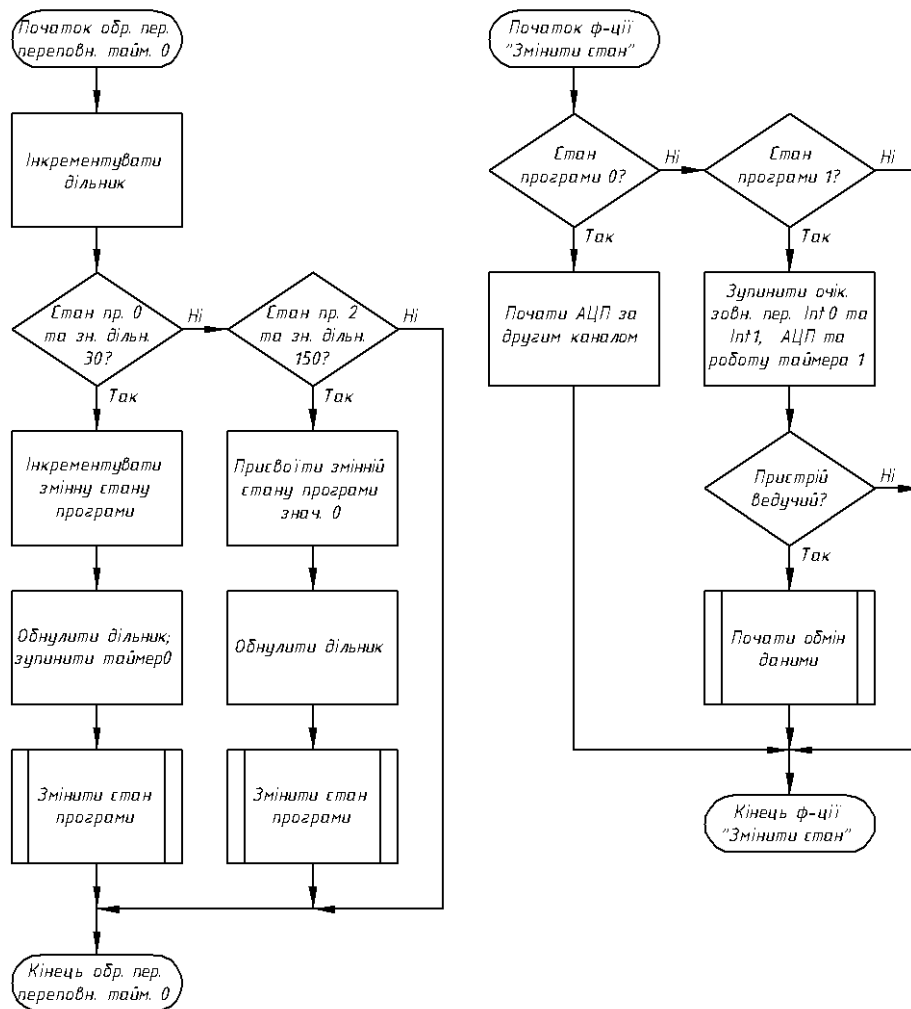


Рисунок 3.2 – Алгоритм управління релейними виходами

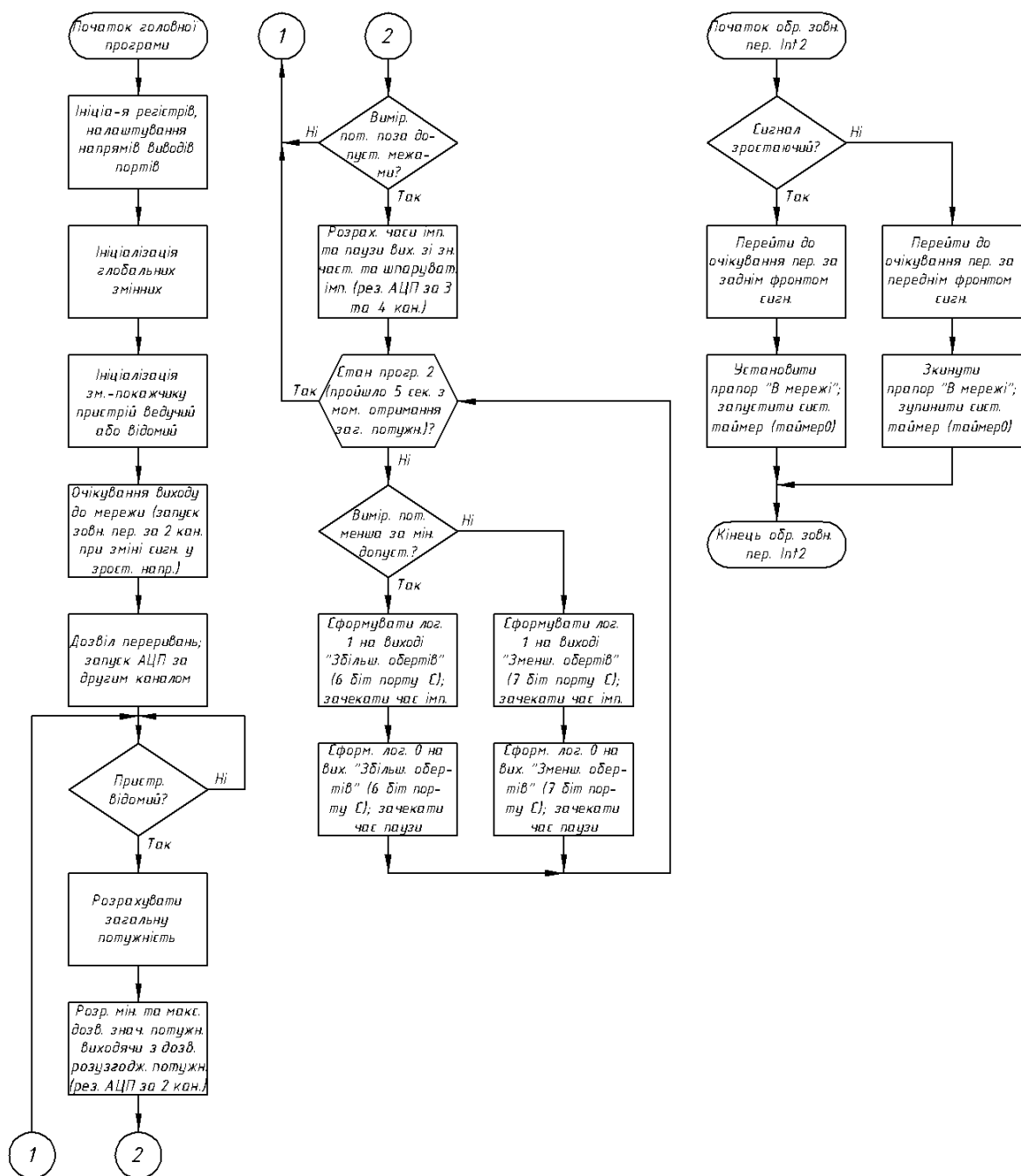


Рисунок 3.3 – Алгоритм управління переходу програми до стану «Робота в мережі»

Програма розділяється на ряд блоків відповідно до їх функціонального призначення (функціональна декомпозиція). Блок-схема головного циклу програми представлена на рис. 3.4.

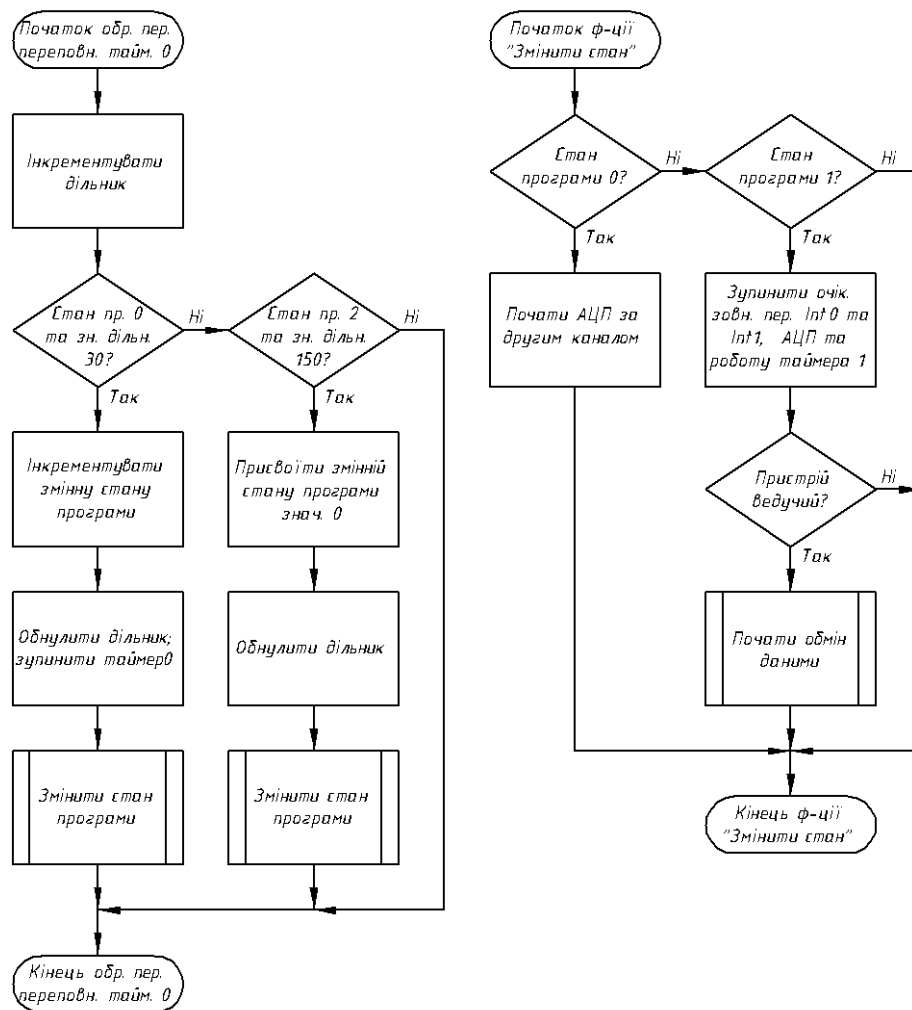


Рисунок 3.4 – Алгоритми зміну стану програми

Особливістю алгоритму роботи програми є те, що вона фактично не має ні початку, ні закінчення. Програма запускається відразу після включення живлення мікроконтролера, або скидання, а закінчується після відключення живлення системи. Після цього відбувається зациклення програми. Головний блок очікує появи переривання і з появою лічильник команд переходить до оброблювача відповідного переривання.

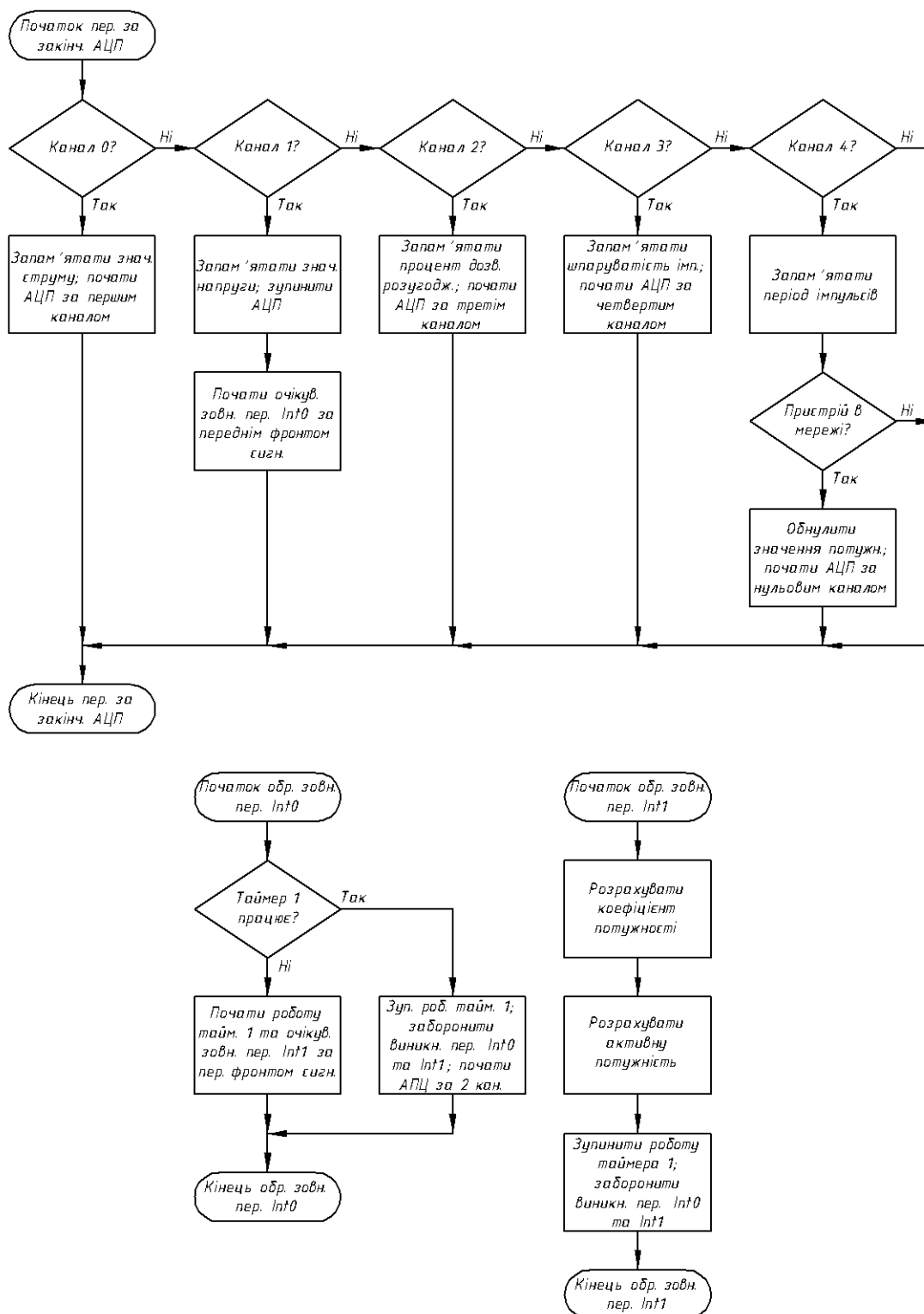


Рисунок 3.5 – Алгоритми вимірювання потужності та уставок

Після завершення перетворення АЦП, формується пакети даних, які можна передати у комп'ютер після надходження відповідного запиту.

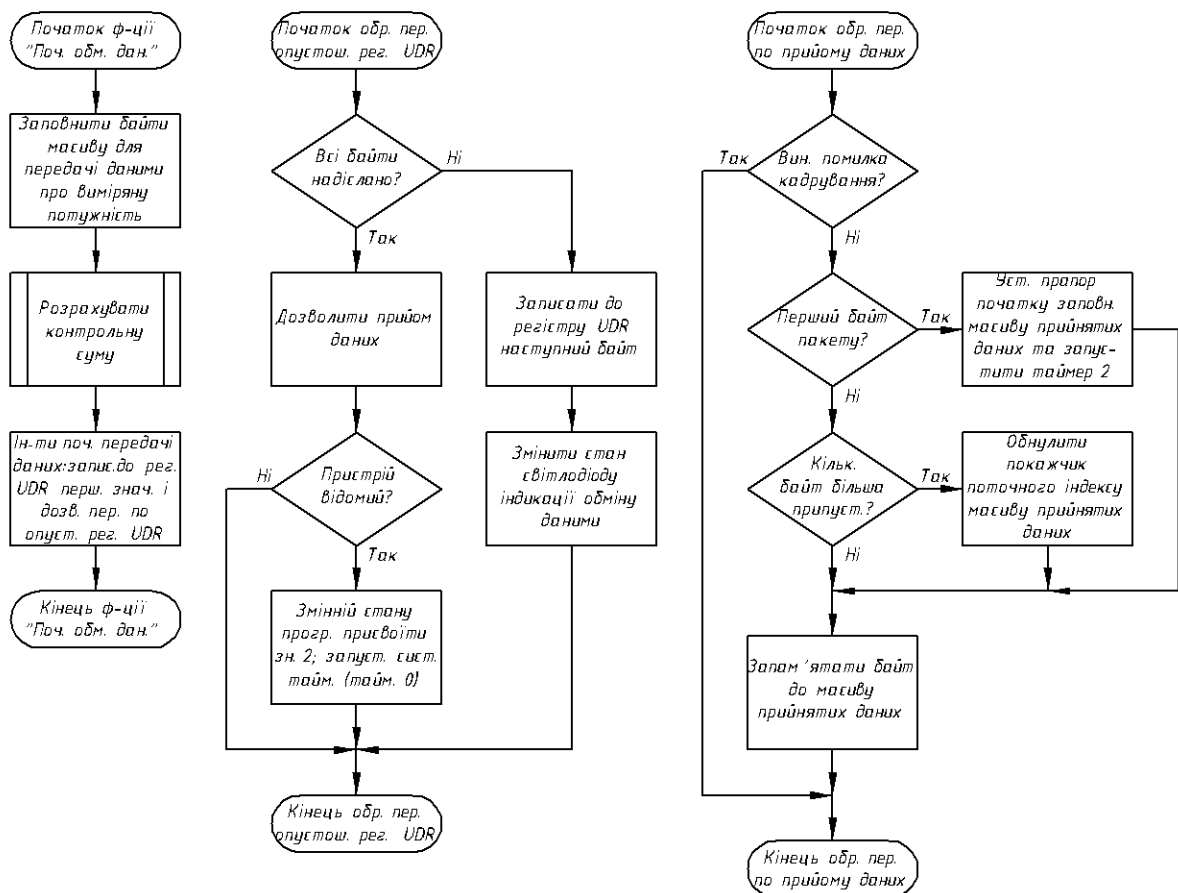


Рисунок 3.6 – Алгоритми прийому та передачі даних

3.3. Модель для дослідження перехідних процесів, що виникають в системі після підключення АСДГ до суднової мережі

Для вивчення перехідних процесів, які відбуваються в мережі після синхронізації за різних умов, використано модель із двох генераторів, створену за допомогою спеціалізованого пакету моделювання. Її зображення наведено на рис. 3.7.

Модуль 3-Phase Breaker моделює функціонування автомата, який підключає один генератор до іншого. Навантаження мережі має активний та активно-індуктивний характер, становлячи 200 кВт і 100 кВт відповідно. Потужність кожного генератора дорівнює 315 кВт. Після завершення автоматичної синхронізації генераторів у роботу вступає система розподілу активної потужності, яка представляє собою цифровий скінченний автомат.

Якщо підключення генератора до мережі відбувається в момент, коли частота його обертання нижча за синхронну ($s > 0$), то генератор працюватиме в режимі синхронного двигуна, споживаючи активну потужність з мережі.

У випадку, якщо генератор підключається до мережі при частоті обертання, що перевищує синхронну ($s < 0$), він функціонуватиме в режимі синхронного генератора, віддаючи активну потужність у мережу. В обох випадках активна потужність, що споживається або віддається синхронною машиною, залежить від ступеня нерівномірності автоматичного регулятора частоти обертання первинного двигуна та від співвідношення частот синхронізованих генераторів.

На першому циклі коливань агрегат з більшою частотою обертання приймає на себе основну частину активного навантаження системи, розвантажуючи генератор, що працює на зниженій статичній частотній характеристиці. Процес перерозподілу навантаження триває 0,2-0,3 с. Починаючи з певної початкової різниці частот ($s_{12} = 2,5\%$ при нахилі частотних характеристик 3%), у системі спостерігається перехід у режим генератора з меншою вихідною частотою обертання. З підвищенням різниці частот спостерігається збільшення провалів частоти на стороні генератора, що має вищу вихідну частоту обертання.

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

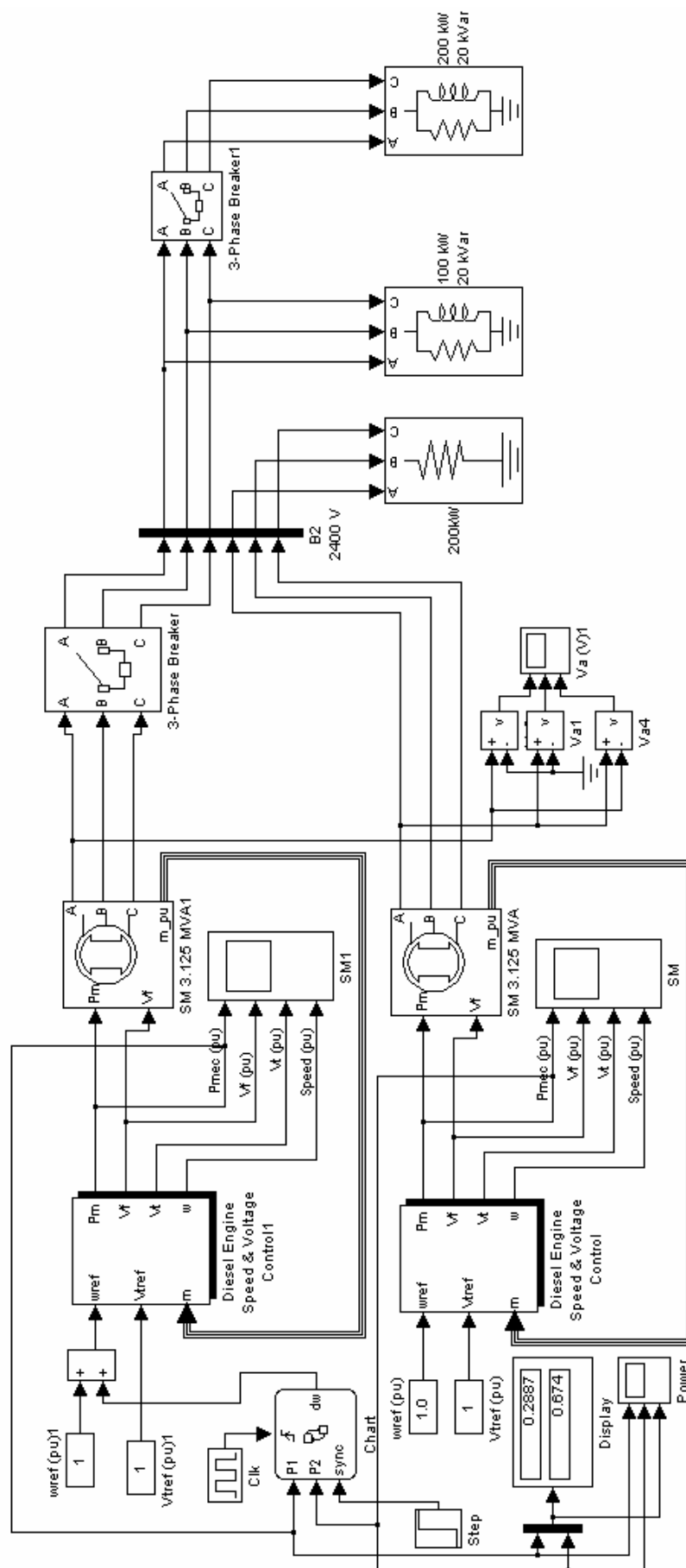


Рисунок 3.7 – Модель суднової електростанції з 2 синхронними генераторами

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		52

3.4. Синтез цифрового автомату для системи керування набором потужності після підключення АСДГ до суднової мережі

Суднова електроенергетична установка та система розподілу активної потужності, що використовується в ній, належать до гібридних систем. Ці системи складаються з аналогових і дискретних компонентів, тому їх можна охарактеризувати як системи зі складною взаємодією між дискретною та безперервною динамікою. Вони проявляються не лише у безперервних змінах стану системи, а й у стрибкоподібних варіаціях відповідно до режиму роботи (комутація навантаження, зміна кількості працюючих генераторів).

Якщо логіка роботи керуючої підсистеми залишається сталою, а зовнішні умови відносно стабільні, такі системи називають трансформаційними. Для трансформаційних систем фази отримання інформації, її обробки та видачі вихідних сигналів чітко розмежовані. На момент звернення до системи всі вхідні сигнали відомі, а сигнали на виходах встановлюються після певного періоду обчислень. Обчислення виконуються за алгоритмом, що перетворює вхідний набір даних у вихідний. В іншому випадку систему відносять до класу керованих подіями або реактивних. Реактивна система реагує на зовнішні дискретні впливи, відповідаючи на них своїми реакціями, які залежать як від впливів, так і від стану системи. Основна відмінність реактивних систем від трансформаційних полягає у непередбачуваності моментів надходження певних сигналів, що є наслідком зміни умов їхньої роботи.

Розглянута система розподілу активної потужності в автономній електроенергетичній установці є реактивною. Моделювання енергетичних процесів (безперервний компонент поведінки системи) доповнюється моделюванням логіки роботи керуючих пристроїв (дискретний компонент). У цьому випадку математичний апарат опису є системою рівнянь, але не диференціальних, а алгебраїчно-логічних. Для моделювання дискретної динаміки реактивних систем широко використовують візуальний формалізм, запропонований Д. Харелом, відомий як Statechart (діаграми станів і

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

переходів). Основні неграфічні компоненти таких діаграм – це подія та дія, а основні графічні компоненти – стан і перехід. На основі діаграми станів можна реалізувати керуючу програму для мікроконтролера системи РАП мовою високого рівня (автоматне програмування, запропоноване А. Шалито та М. Тукелем). Таким чином, представлення системи РАП у формі цифрового скінченного автомата дозволяє моделювати роботу системи РАП у складі АЕЕС і розробляти програму для керуючого мікроконтролера.

На рисунку 3.8 показані осцилограми зміни активної потужності в електроенергетичній системі при відключеній установці розподілу активної потужності, після синхронізації генераторів під час роботи на загальне навантаження потужністю 300 кВт.

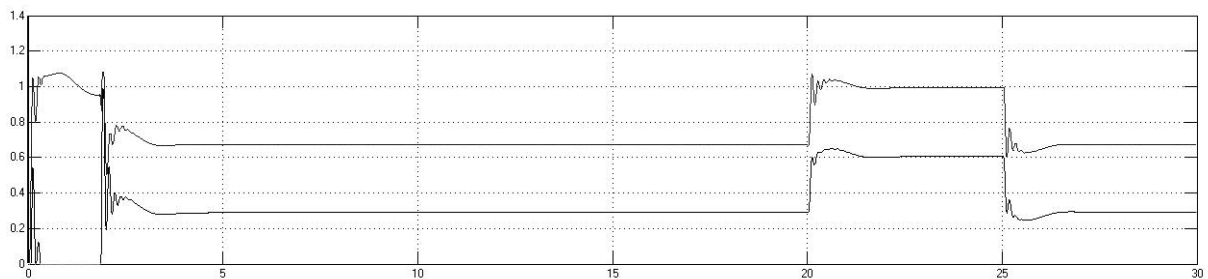


Рисунок 3.8 – Осцилограми зміни активної потужності без роботи системи РАП

Після підключення генераторів для роботи в паралельному режимі активна потужність між ними розподіляється нерівномірно, причому цей розподіл залежить від умов синхронізації (різниці фаз, частот та напруг у момент замикання контактів автоматичного вимикача), які зазвичай є випадковими. Як видно з рисунка 3.8, після синхронізації перший генератор завантажений на 29%, а другий – на 67%. У момент часу $t=20$ с підключається споживач електроенергії потужністю 200 кВт. У цьому випадку завантаження кожного з генераторів становить відповідно 61% та 103%. Отже, моделювання показало, що за відсутності пристрою розподілу активної потужності навантаження генераторів відбувається випадковим чином, що може призвести до перевантаження одного з генераторів, незважаючи на наявність резервної потужності, яка генерується.

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		54

Для забезпечення пропорційного розподілу потужності між генераторами був розроблений цифровий автомат, що моделює роботу системи РАП. На рисунку 3.9 представлений граф переходів цього розробленого автомата.

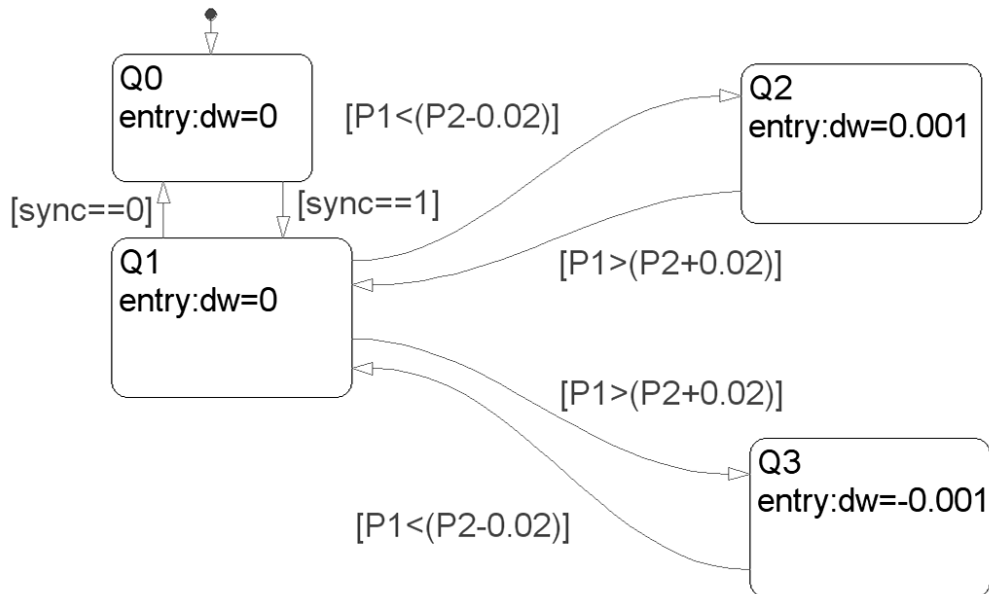


Рисунок 3.9 – Граф переходів автомата, що моделює систему РАП

У стані Q0 автомат залишається доти, поки не буде виконана синхронізація. Сигнал на замикання автоматичного вимикача викликає перехід з стану Q0 у стан Q1. У стані Q2 автомат генерує на виході dw сигнал, що відповідає збільшенню подачі пального через зміщення паливної рейки, що, у свою чергу, веде до зростання активної потужності. У стані Q3 автомат формує на виході dw сигнал, що відповідає зменшенню подачі пального, приводячи до зниження активної потужності. Автомат залишатиметься в одному з цих станів (Q2 або Q3) доти, поки активні потужності кожного з генераторів не стануть рівними або не потраплять у певний діапазон, який відповідає допустимій нерівномірності розподілу активної потужності між ними.

Цей автомат є синхронним, оскільки це відображає реальну роботу пристрою розподілу активної потужності, а вихідні сигнали керування представляють собою імпульсні сигнали на збільшення чи зменшення обертів дизеля. На рисунку 3.10 наведені осцилограми зміни активної потужності між генераторами під час роботи пристрою.

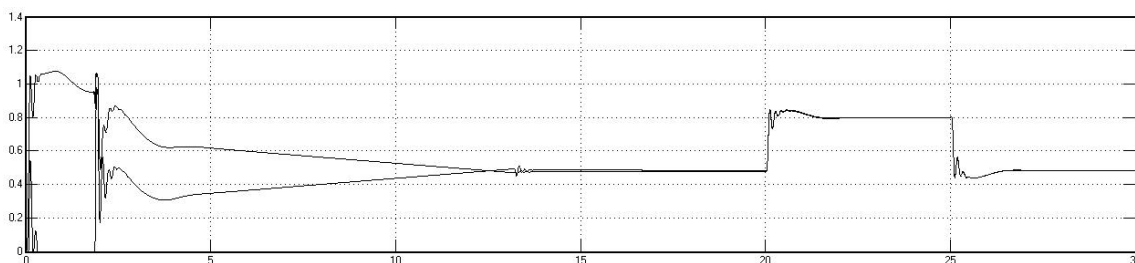
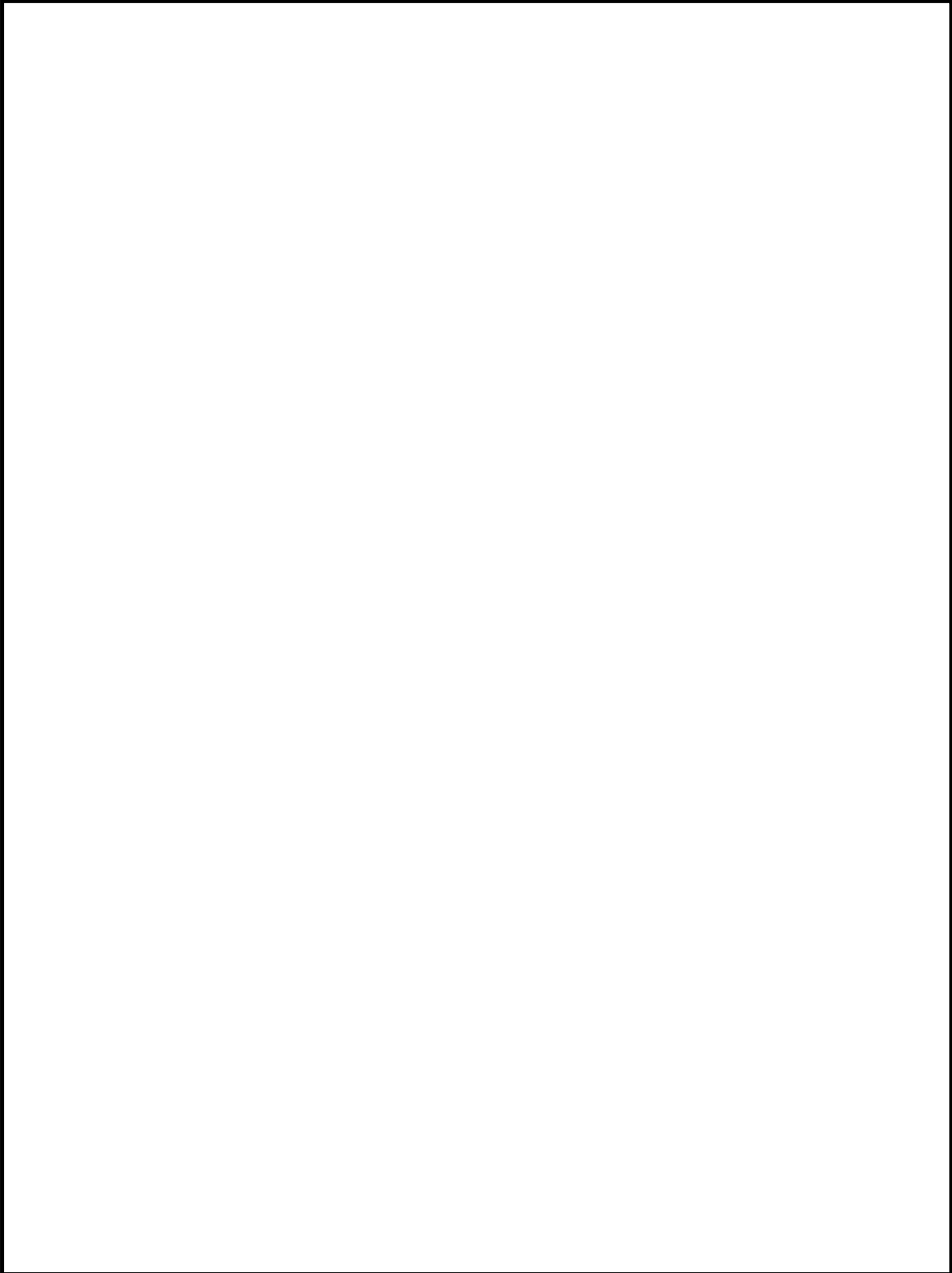


Рисунок 3.10 – Осцилограми зміни активної потужності при роботі системи
РАП

При зменшенні періоду тактового сигналу цифрового автомата пристрою РАП в енергетичній системі виникають коливання активної потужності під час паралельної роботи генераторів, що призводить до нестабільності системи.

Висновки по розділу

У цьому розділі виконано розробку алгоритмів і створено програмне забезпечення для мікроконтролера. Основною складністю при розробці програмного забезпечення для мікроконтролера є його налагодження. За допомогою стандартних приладів складно визначити поточний стан мікроконтролера, а також значення його регістрів у реальному часі. У разі непередбачуваної поведінки програми виникає проблема з визначенням причини: чи є вона наслідком помилки в програмному коді, чи дефекту в апаратній частині, що спричинив зміну характеристик вхідних сигналів мікроконтролера.



					171.6321М.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Редька І.В.			Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант		Губальцев А. М.					57	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на людину

Охорона праці – це складна система, яка складається з різних інструментів для забезпечення безпеки, здоров'я та працездатності людини під час праці. Шкідливий виробничий фактор – це такий виробничий фактор, що приводить до захворювання або зниження працездатності людини. Результатом на людину є професійні захворювання.

Кліматичні умови є важливим фактором нормальної роботи електронної техніки і високої продуктивності працівників. З метою створення нормальних кліматичних умов на робочому місці встановлені норми виробничого мікроклімату. Основні параметри мікроклімату на ділянці збору електронного обладнання представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні параметри мікроклімату

Період року	Параметри повітряного середовища								
	Фактичні			Оптимальні			Припустимі		
	t, °C	Віднос на вологість, %	Швидки й. Повітря, м/с	t, °C	Відносн а вологіст ь, %	Швидки й. Повітря, м/с	t, °C	Відносн а вологіст ь, %	Швидки й. Повітря, м/с
Холодний	18	66	0,2	20-22	40-60	0,2	18-22	70	0,3
Теплий	24	60	0,3	20-25	40-60	0,4	28	60-65	0,5

З таблиці 4.1 випливає, що параметри мікроклімату в лабораторії знаходяться в межах норми.

4.2. Забруднення повітря на робочому місці

Під час виконання технологічних операцій з виготовлення системи, в атмосферу викидається ряд хімічних речовин, більшість з яких є небезпечними для здоров'я людини. Найбільш шкідливі з них приведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Шкідливі речовини

Речовина	Забруднюючі компоненти	Характер дії, області поразки	Клас небезпеки	Гранично допустима концентрація в повітрі		Викид в робочій зоні, мг/м ³
				Разова мг/м ³	Середньодобова, мг/м ³	
Припої олов'яно-свинцеві ПОС-40 ПОС-60	Pb(свинець) Sn(олово)	Центральна нервова система, полові органи	I	-	0,0003	0,0001
	Ni(нікель)	Канцероген	I	0,0002	0,0002	-
	каніфоль	Дихальні шляхи	IV	0,3	0,3	0,2
Флюси	Етиловий спирт	Центральна нервова система	IV	0,1	0,1	-
Лаки	Полімери	Центральна нервова система	IV	0,35	0,35	0,05

Як видно з таблиці 4.2, зміст шкідливих речовин в атмосфері лабораторії не перевищує гранично допустиму концентрацію.

Слід зазначити, що шкідливі речовини викидаються в атмосферу тільки в процесі виробництва системи, але не в процесі її налагодження й експлуатації.

4.3. Освітлення на робочому місці

Виробниче освітлення відіграє важливу роль у зменшенні травматизму на виробництві, знижує ризик впливу багатьох небезпечних виробничих факторів, зменшує ймовірність захворювання органів зору, забезпечує нормальні умови праці та підвищує загальну працездатність працівника.

Існує три типи освітлення: природне, штучне та комбіноване. Природне освітлення може бути: бічним (одностороннім і двостороннім), верхнім та

комбінованим. Штучне освітлення, за конструктивними особливостями, буває: загальним, що використовується для освітлення приміщень; місцевим, призначеним для освітлення робочого місця працівника; та комбінованим освітленням. Штучне освітлення також поділяється на: робоче, аварійне, чергове, охоронне та евакуаційне. Комбіноване освітлення є поєднанням природного та штучного освітлення.

Для освітлення використовуються газорозрядні лампи та лампи накаливання. Лампи накаливання діляться на вакуумні та газонаповнені. Перевагами цих ламп є: зручність експлуатації, відсутність потреби в додаткових пристроях для роботи в мережі, простота виготовлення, широкий спектр потужностей та робочих напруг, а також відсутність часу загорання. Недоліками ламп накаливання є: низький коефіцієнт корисної дії, невелика світлова віддача, короткий термін служби (2000-2500 годин) та переважання жовтих і червоних променів у спектрі, що суттєво відрізняє їх від природного світла.

Перевагами газорозрядних ламп є: вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з лампами накаливання, тривалий термін служби (8000-12000 годин) та імітація денного світла. Проте недоліками газорозрядних ламп є: пульсації світлового потоку, стробоскопічний ефект, необхідність використання додаткових пристроїв для роботи в мережі, а також токсичність парів ртуті при руйнуванні лампи. Основним типом газорозрядної лампи є люмінесцентна лампа.

4.4. Заходи з техніки безпеки та охорони праці

Мікроклімат на робочому місці

Для підтримки комфортних умов праці відповідно до встановлених виробничих стандартів, необхідно обігрівати або охолоджувати виробничі приміщення в залежності від пори року. Для цього застосовуються кондиціонери, вентилятори, централізовані системи опалення або нагрівальні пристрої.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Забруднення повітря на робочому місці

Під час виконання виробничих операцій слід організовувати вентиляцію приміщень та витяжку на робочих місцях. У разі необхідності можна використовувати спеціалізовані повітроочисні установки.

Виробниче освітлення

Для усунення стробоскопічного ефекту рекомендується розподілити світильники з газорозрядними лампами на три рівні групи та підключити їх до різних фаз трифазної електромережі. Завдяки фазовому зміщенню струмів в ланцюгах світильників різних груп відбувається взаємна компенсація, що дозволяє підтримувати сумарний світловий потік практично незмінним.

У приміщенні, де експлуатується комп'ютер, загальне освітлення слід організувати у вигляді суцільних або переривчастих ліній світильників, розміщених збоку від робочих місць, паралельно з лінією зору користувача, якщо комп'ютери розташовані рядами. Якщо комп'ютери розміщені вздовж периметру приміщення, лінії світильників мають бути локалізовані над робочим столом, ближче до його переднього краю, що виходить до оператора.

Слід зменшити прямий відблиск від джерел освітлення. Яскравість світлих поверхонь у полі зору не повинна перевищувати 200 кд/м².

Також варто обмежити відблиски на робочих поверхнях шляхом правильного вибору типів світильників та розташування робочих місць щодо джерел природного та штучного освітлення; при цьому яскравість відблисків на екрані не повинна перевищувати 40 кд/м².

Електробезпека

Електробезпечність забезпечується правильною конструкцією електрообладнання, застосуванням технічних рішень і засобів захисту від ураження електричним струмом, а також організаційними та технічними заходами. Конструкція електрообладнання повинна відповідати умовам експлуатації, забезпечуючи захист персоналу від контакту зі струмопровідними частинами та від потрапляння сторонніх предметів і води.

					171.6321M.KP.ПЗ.P4	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Найбільш поширеними технічними засобами захисту є захисне заземлення та занулення. Прокладка контуру заземлення здійснювалася під час будівництва лабораторії відповідно до будівельних норм, тому додатковий розрахунок опору контуру не є необхідним. Організаційні та технічні заходи щодо забезпечення електробезпеки включають навчання, інструктаж і допуск до роботи осіб, які пройшли медичний огляд та виконали ряд технічних вимог для роботи з електрообладнанням, дотримуючись спеціальних вимог при роботі з елементами під напругою.

Електромагнітне поле

Серед найефективніших і найчастіше використовуваних методів захисту від низькочастотних радіовипромінювань є екранування приладів. Для екранів використовують матеріали з високою електричною провідністю. Засобами індивідуального захисту є спеціальний одяг, виготовлений з металізованої тканини у вигляді комбінезонів, халатів, фартухів, курток з капюшонами та вмонтованими захисними окулярами.

Робота з комп'ютером

Вимоги до приміщень:

- Приміщення з комп'ютером повинно належати до категорії В.
- Розміщення приміщення для роботи з комп'ютером у підвалах та цокольних поверхах забороняється.
- Площа на одне робоче місце, обладнане комп'ютером, повинна становити не менше 6 м².
- Приміщення з комп'ютером мають бути обладнані системою автоматичної пожежної сигналізації та вуглекислотними вогнегасниками (по два на 20 м² площі приміщення).

Санітарно-гігієнічні вимоги:

- Рівень освітленості на робочому столі має становити 300-500 лк.
- Температура повітря в приміщенні в холодну пору року повинна варіюватися від 21°C до 24°C, а в теплу пору року – від 23°C до 25°C.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У приміщенні, де одночасно експлуатуються або обслуговуються більше 5 комп'ютерів, має бути встановлений аварійний резервний вимикач, що дозволяє відключити електропостачання приміщення, за винятком освітлення.

Користувач комп'ютера повинен перебувати на відстані 500-600 мм від монітора, якщо діагональ екрана становить 15 дюймів, та на відстані 600-700 мм при діагоналі екрана 17 дюймів.

Згідно з наказом про охорону праці, режим роботи та відпочинку операторів, що працюють з комп'ютерами, має організовуватися відповідно до категорії трудової діяльності.

Види трудової діяльності поділяються на три групи (А, Б, В):

- А: робота з зчитуванням інформації з екрана комп'ютера за попереднім запитом;
- Б: робота з введенням інформації;
- В: творча діяльність в режимі діалогу з комп'ютером.

Перерви для відпочинку встановлюються в залежності від ступеня стомлення працівника. Своєчасність перерв є важливішою за їх тривалість. Під час перерв рекомендується виконувати спеціалізовані комплекси гімнастичних вправ, які стимулюють кровообіг і дозволяють змінити навантаження на хребет.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час роботи над магістерською кваліфікаційною роботою, на основі детального аналізу систем аварійного пуску суднових дизель-генераторів, було виявлено, що розроблена система належить до класу аналогово-дискретних систем. Однак, вона також є типовою комп'ютерно-керованою автоматизованою системою реального часу.

Основні результати роботи включають:

- розробку технічної пропозиції для створення апаратно-програмного комплексу автоматичного запуску аварійного дизель-генератора;
- формалізацію алгоритму та створення програмного забезпечення для управління, яке забезпечує:
 - контроль параметрів дизеля;
 - реалізацію критеріїв для видачі команд на запуск аварійного дизель-генератора;
 - відображення інформації на центральному пульті управління.

Розроблена мікропроцесорна система запуску аварійного суднового дизель-генератора демонструє кращі експлуатаційні характеристики в порівнянні з існуючими системами, зокрема, масо-габаритні показники знижені на 10-15% завдяки використанню сучасної елементної бази (мікроконтролера) і перенесенню частини функцій з апаратного рівня на програмний.

Також виконано розділ, присвячений охороні праці.

Результати роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 13-14 листопада 2023 р., НУК ім. адм. Макарова, м. Миколаїв. Опубліковано тези доповіді [16].

Завдання, що ставилися в рамках магістерської кваліфікаційної роботи, виконано в повному обсязі.

					171.6321М.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабій О.В. Регістр судноплавства України. Загальні положення класифікаційної та іншої діяльності. Правила класифікації та побудови суден. Частина I «Класифікація». Том 1 / О.В. Бабій, М.П. Сльозко. – Київ : Регістр судноплавства України, 2024. – 163 с.
2. Єрмолаєв В.П. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови суден. Том 4 / В.П. Єрмолаєв, А.О. Білокурець – Київ : Регістр судноплавства України, 2020. – 560 с.
3. Dorf R.. Modern control systems / R. Dorf, R. Bishop. New Jersey :Pearson Education, 2017. 1106 p.
4. Iliushko, Victor & Retha, Emaid & Dierks, Sönke & Marques, Pascual. (2016). Automatic Control Systems.
5. Єремєєв І.С. Автоматизовані системи управління технологічними процесами / І.С. Єремєєв, В.Б.Кисельов. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2022. 324 с.
6. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем. Том 2. Прикладна теорія цифрових автоматів. Підручник / В.М. Рябенський, М.Т. Фісун, О.О. Ушкаренко. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. – 380 с.
7. Alrik Thiem. Logic diagrams: a visual tool with untapped potential / Thiem Alrik, Sebechlebská Zuzana, Mkrtchyan Lusine // Nature Reviews Methods Primers. 2023. Vol. 3. P. 1-21. DOI: 10.1038/s43586-023-00210-5.
8. Liang Xiaodong. Induction Motor Starting in Practical Industrial Applications / Xiaodong Liang, Obinna Ilochonwu // Industry Applications, IEEE Transactions on. 2011. Vol. 47. P. 271-280. DOI: 10.1109/TIA.2010.2090848.
9. Ushkarenko O.O. Software development for calculation of ship diesel-generators' power based on the statistical processing of information / O.O. Ushkarenko O.I. Dorogan // Problems of information technologies. Kherson : KNTU. 2017. №1(021). P. 35-41.

					171.6321М.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

10. Ryabenkiy V.M. Techniques of statistic research of power surges in autonomous power stations / V.M. Ryabenkiy, A.O. Ushkarenko // Scientific Journals Maritime University of Szczecin. 2011. № 30(102). P. 121-125.

11. Brémaud P. Generalities on Random Processes. In: Probability Theory and Stochastic Processes / P. Brémaud // Universitext: Springer, Cham. 2020. P. 199-220. DOI: 10.1007/978-3-030-40183-2_5.

12. Mirošević Marija. Impact of Induction Motor Starting on Ship Power Network / Marija Mirošević, Damir Sumina, Neven Bulić // International Review of Electrical Engineering. 2011. Vol. 6. P. 186-197.

13. Zabihian Farshid. Power Plant Engineering / Farshid Zabihian. CRC Press 2021. 1250 p. DOI: 10.1201/9780429069451.

14. Gomez J. A Study of Voltage Sags Generated by Induction Motor Starting. Electric Power Components and Systems / J. Gomez, Claudio Reineri, G.Campetelli, M.M. Morcos // Electr. Power Compon. Syst. 2004. Vol. 32. P. 645-653. DOI: 10.1080/15325000490228423.

15. Mahmoud M. S. Al-suod. Improving the Control Quality of Gas Diesel Engine as Part of Autonomous Electric Power System. / Al-suod Mahmoud M. S., Ushkarenko O. // International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications. 2024. Vol. 13, No. 5. P. 354-365. doi: 10.18178/ijeetc.13.5.354-365.

16. Редька І.В. Принципи опису систем цифрової обробки сигналів на структурно-функціональному рівні / І.В. Редька, О.І. Трешнюк, О.О. Ушкаренко // Автоматика та електротехніка: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених [Електронний ресурс]. Миколаїв: НУК, 2023. С. 57-59.

					171.6321М.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Лістинг програми для мікроконтролера

```
#include <iom16v.h>
#include <macros.h>

#define Init_Timer_0                TCCR0=0x05                // Запуск таймера 0
#define Halt_Timer_0                TCCR0=0x00; TCNT0=0x64      // Зупинка таймера 0
#define Init_Timer_1                TCCR1B=0x05 // Запуск таймера 1
#define Halt_Timer_1                TCCR1B=0x00; TCNT1=0xC2F7    // Зупинка таймера 1

#define Alarm_LED_On                PORTA &= ~(1 << PA0)      // Увімкнення аварійної індикації
#define Alarm_LED_Off                PORTA |= 1 << PA0          // Вимкнення аварійної індикації

#define OilPump_On                  PORTA &= ~(1 << PA1)      // Включення маслонасоса
#define OilPump_Off                  PORTA |= 1 << PA1          // Відключення маслонасоса

#define FuelPump_On                  PORTA &= ~(1 << PA2)      // Включення паливного насоса
#define FuelPump_Off                  PORTA |= 1 << PA2          // Відключення паливного насоса

#define Starter_Activate              PORTA &= ~(1 << PA3)      // Запуск стартера
#define Starter_Deactivate            PORTA |= 1 << PA3          // Відключення стартера

#define Connect_Load                  PORTA &= ~(1 << PA4)      // Підключення навантаження
```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

#define Disconnect_Load      PORTA |= 1 << PA4      // Відключення
навантаження

#define AutoStop_Enable      PORTA &= ~(1 << PA5)    // Активація
автозупинки

#define AutoStop_Disable     PORTA |= 1 << PA5      // Деактивація
автозупинки

#define Block_Control        DDRA = 0x00

#define Gen_Charge_OK        0
#define Tachometer_OK        1
#define Relay_500_OK          2    // Реле на 500 об/хв спрацювало
#define Relay_1350_OK         3    // Реле на 1350 об/хв спрацювало
#define Relay_1650_OK         4    // Реле на 1650 об/хв спрацювало
#define Oil_Pressure_Emergency 5    // Аварійний датчик тиску
масла
#define Oil_Pressure_Warning   6    // Попереджувальний датчик
тиску масла
#define Water_Temperature_Emer 7    // Аварійний датчик
температури води
#define Voltage_Loss           8    // Пропала напруга
#define Fuel_Sensor_Triggered  9    // Спрацював датчик палива
#define Stop_Button_Pressed    10   // Кнопка «Стоп» натиснута
#define Start_Button_Pressed   11   // Кнопка «Пуск» натиснута
#define Mode_Switch            12   // Перемикач режимів
#define Disable_Protection     13   // Відключення захисту
#define System_Unlock_Button    14   // Кнопка розблокування

#define LED_Ready              0    // Індикація "Готовий"
#define LED_Starting           1    // Індикація "Запуск"
#define LED_OverSpeed_Active    2    // Захист від перевищення
обертів активний
#define LED_OverSpeed_Inactive  3    // Захист від перевищення
обертів неактивний
#define LED_Protection_On       4    // Захист активовано
#define LED_Protection_Off      5    // Захист відключено

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

#define LED_Start_Failed          6    // Невдалий запуск
#define LED_Load_On               7    // Навантаження підключено
#define LED_System_OK             8    // Система в нормі
#define LED_OilPump_On            9    // Маслонасос увімкнений
#define LED_FuelPump_On           10   // Паливний насос увімкнений
#define LED_Working               11   // Режим «Робота»
#define LED_Monitoring            12   // Режим «Контроль»
#define LED_OverSpeed_Error       13   // Аварія через перевищення
обертів
#define LED_Water_OverTemp        14   // Аварійна температура води
#define LED_Oil_Pressure_Emer     15   // Аварійний тиск масла

#define Set_Clock                 PORTC |= 1 << PC1
#define Reset_Clock              PORTC &= ~(1 << PC1)
#define Set_Data                 PORTC &= ~(1 << PC0)
#define Reset_Data              PORTC |= 1 << PC0
#define Toggle_Work_Signal       PORTC ^= 1 << PC6
#define Enable_Watchdog  WDTCR = (1 << WDE) | (WDP2) | (WDP1) |
(WDP0)

unsigned char attempts = 0;
unsigned int  sensor_status = 0xFFFF, prev_sensor_status,
system_flags = 0, timer0_counter = 0, timer1_counter = 0,
temp_display = 0;
unsigned long display_data = 0;

void Halt_Engine(void);
void Start_Engine(void);
void Update_Display(unsigned long temp);
void Read_Sensors(void);
void Activate_Protection(void);

void initialize_ports(void) {
    PORTA = 0xFF; DDRA = 0x3F;
    PORTB = 0xFF; DDRB = 0x00;
    PORTC = 0xFF; DDRC = 0x43;
}

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

    PORTD = 0xFF; DDRD = 0x00;
}

void initialize_watchdog(void) {
    WDR(); // Уникнення тайм-ауту під час ввімкнення
    WDTCR = 0x00; // Активувати watchdog
}

void initialize_timer0(void) {
    TCCR0 = 0x00; TCNT0 = 0x64; OCR0 = 0x9C; TCCR0 = 0x00;
}

#pragma interrupt_handler timer0_ovf_isr:10
void timer0_ovf_isr(void) {
    TCNT0 = 0x64; timer0_counter++;
}

void initialize_timer1(void) {
    TCCR1B = 0x00; TCNT1H = 0xC2; TCNT1L = 0xF7;
    OCR1AH = 0x3D; OCR1AL = 0x09;
    OCR1BH = 0x3D; OCR1BL = 0x09;
    ICR1H = 0x3D; ICR1L = 0x09;
    TCCR1A = 0x00; TCCR1B = 0x00;
}

#pragma interrupt_handler timer1_ovf_isr:9
void timer1_ovf_isr(void) {
    TCNT1H = 0xC2; TCNT1L = 0xF7;
    timer1_counter++;
}

// Основний код програми
void main(void) {
    initialize_ports();
    initialize_watchdog();
    initialize_timer0();

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

    initialize_timer1();

    display_data = (1 << LED_Ready) | (1 << LED_Working);
    Update_Display(display_data);

    while ((sensor_status & (1 << Voltage_Loss)) &&
           (sensor_status & (1 << Start_Button_Pressed)) &&
           (sensor_status & (1 << Mode_Switch)));

    Start_Engine();
}

// Функція запуску двигуна
void Start_Engine(void) {
    OilPump_On;
    FuelPump_On;
    display_data = (1 << LED_Starting) | (1 << LED_Working) |
                   (1 << LED_OilPump_On) | (1 <<
LED_FuelPump_On);
    Update_Display(display_data);
    Init_Timer_0;
    attempts++;
    while (timer0_counter < 300);
    Halt_Timer_0;
    timer0_counter = 0;
    Starter_Activate;
}

```

					171.6321М.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Фотографії системи запуску аварійного суднового дизель-генератора

