

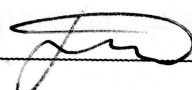
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Навчально-науковий інститут автоматики та електромеханіки
(заочне відділення)

Кафедра електричної інженерії та електроніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА
на тему:

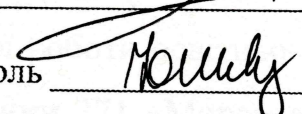
«Електрообладнання, електронна апаратура і системи управління
контейнеровоза місткістю 6572 контейнера»

Виконавець  Георгіца Р. І.

Завідувач кафедри 16.06.21  Муха М. Й.

Керівник  Бушер В. В.

Рецензент Віктор В. С. Михайленко

Нормоконтроль  Шевцов Ю. С.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

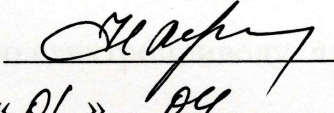
Навчально-науковий інститут автоматики та електромеханіки

Кафедра електричної інженерії та електроніки

Спеціальність: електричні системи та комплекси транспортних засобів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою СЕМ і ЕТ

 М. Й. Муха
«01» 04 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу бакалавра

Георгіци Романа Івановича

Тема бакалаврської роботи:

1. «Електрообладнання, електронна апаратура і системи управління контейнеровоза місткістю 6572 контейнера» затверджена наказом ректора академії від «03» 06 2021 р. № 750
2. Термін здачі курсантом закінченої роботи до 20.06.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: технічна документація судна - контейнеровоза місткістю 8400 контейнерів.
4. Змістовна частина розділів дипломної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за **напрямом підготовки 271 «Морський та річковий транспорт»** як зазначено нижче:
 - 4.1. Техніко-експлуатаційні характеристики та конструктивні особливості судна:
 - опис корпусу судна та рушія, головної енергетичної установки, вантажного комплексу, допоміжних механізмів і систем;
 - вибір та обґрунтування основних параметрів СЕЕС.

- вибір комутаційно-захисної апаратури та засобів електромагнітної сумісності електроприводу;
- розробка інструкції з експлуатації суднового електроприводу, який розраховувався.

4.3. Суднова електроенергетична система (СЕЕС):

- розрахунок потужності СЕЕС для характерних режимів роботи судна, вибір кількості, потужності і типу основних та аварійних генераторних агрегатів СЕЕС;
- вибір акумуляторів та перетворювачів електроенергії;
- вибір раціональної структури СЕЕС та розробка однолінійної схеми ГРЩ та АРЩ;
- розрахунок струмів короткого замикання, вибір генераторних автоматів;
- вибір апаратів, приладів, приборів ГРЩ;
- вибір системи збудження синхронних генераторів;
- розрахунок провалу напруги СЕЕС під час пуску найбільш потужного споживача електроенергії;
- перевірка кабелю одного з найбільш віддаленого електроприводу на втрату напруги;
- вибір засобів автоматизації СЕЕС, розробка структурної або функціональної схеми автоматизованої системи управління (АСУ) СЕЕС, розробка алгоритмів управління СЕЕС;
- загальні відомості про мережу суднового електричного освітлення, сигнальні вогні, освітлення низької напруги.

4.4. Аналіз систем та пристроїв управління судном:

- технічні характеристики та конструктивні особливості суднової комп'ютерної мережі інформаційних і управляючих систем;
- аналіз роботи системи управління одного із об'єктів суднової енергетичної установки (наприклад, ДАУ ГД, ДАУ ДГ, системи управління допоміжними механізмами та загально-судновими системами, тощо);
- технічні характеристики та конструктивні особливості основних пристроїв управління судна, системи контролю, сигналізації та внутрішнього зв'язку;
- ГМЗСБ і навігація (технічні характеристики та конструктивні особливості електро-, радіо-, навігаційних пристроїв та радіозв'язку).

4.5. Питання цивільного захисту та охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу:

- принципова схема силової частини електроприводу та схема його системи управління;
- однолінійна схема ГРЩ і АРЩ;
- система збудження СГ;

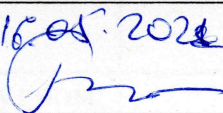
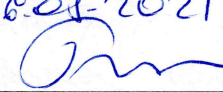
- аналіз роботи системи управління одного із об'єктів суднової енергетичної установки (наприклад, ДАУ ГД, ДАУ ДГ, системи управління допоміжними механізмами та загально-судновими системами, тощо);
- технічні характеристики та конструктивні особливості основних пристроїв управління судна, системи контролю, сигналізації та внутрішнього зв'язку;
- ГМЗСБ і навігація (технічні характеристики та конструктивні особливості електро-, радіо-, навігаційних пристроїв та радіозв'язку).

4.5. Питання цивільного захисту та охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу:

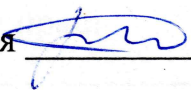
- принципова схема силової частини електроприводу та схема його системи управління;
- однолінійна схема ГРЩ і АРЩ;
- система збудження СГ;
- структурна або функціональна схема АСУ СЕЕС, алгоритм управління;
- принципова або структурна схема системи управління технічного об'єкту, граф-схема алгоритму функціонування.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис і дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	кафедра БЖ	16.05.2021 	
Цивільний захист	кафедра БЖ	16.05.2021 	

Дата видачі завдання: 16.05.2021 р.

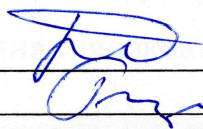
Керівник  Бушер В. В.

Завдання прийняв до виконання  Георгіца Р. І.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

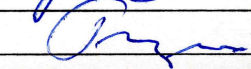
№ п/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання	Примітки
1	Розрахунок режимів роботи електропривода циркуляційного насосу заборотної води. Вибір двигуна. Перевірка двигуна за нагрівом. Розрахунок статичних та динамічних характеристик приводу. Спосіб пуску двигуна.	16.05 – 20.05.2021	Вик
2	Суднова електроенергетична система (СЕЕС): розрахунок потужності СЕЕС для характерних режимів роботи судна, вибір кількості, потужності і типу основних та аварійних генераторних агрегатів СЕЕС; розробка однолінійної схеми ГРЩ та АРЩ; вибір генераторних автоматів; вибір системи збудження синхронних генераторів; перевірка кабелю одного з найбільш віддаленого електроприводу на втрату напруги; вибір засобів автоматизації СЕЕС, розробка структурної або функціональної схеми автоматизованої системи управління (АСУ) СЕЕС; загальні відомості про мережу суднового електричного освітлення.	21.05 – 04.06.2021	Вик
3	Аналіз систем та пристроїв управління судном: технічні характеристики та конструктивні особливості суднової комп'ютерної мережі інформаційних і управляючих систем; аналіз роботи системи управління одного із об'єктів суднової енергетичної установки; ГМЗСБ і навігація.	05.06 – 11.06.2021	Вик
5	Цивільний захист та охорона праці	12.06 – 14.06.2021	Вик
6	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини роботи.	10.06.21 – 18.06.21	Вик

Студент-дипломник



Георгіца Р. І.

Керівник



Бушер В. В.

Анотація

Електрообладнання, електронна апаратура і системи управління контейнеровоза місткістю 6572 контейнера

У дипломній роботі виконано аналіз електротехнічних систем судна типу контейнеровоз місткістю 6572 контейнера – Miramarin – IMO 9409182. Описано техніко-експлуатаційні характеристики і конструктивні особливості судна.

Зроблено розрахунок режимів роботи і вибір електроприводу підрулюючого пристрою. Розроблено деталізовану модель багаторівневого перетворювача частоти, включаючи систему ШІМ з підвищенням енергетичної ефективності використання джерел живлення.

Виконаний розрахунок суднової електроенергетичної системи. Табличним методом була розрахована потужність і зроблений вибір числа дизель генераторів суднової електростанції. Описані безщітковий синхронний генератор і його система збудження. Розроблені однолінійна схема головного і аварійного розподільних щитів. Описана схема розподілу електроенергії по судну. Обрані засоби автоматизації СЕЕС, розроблена функціональна схема автоматизованої системи управління (АСУ) СЕЕС, проведено розробку алгоритмів управління СЕЕС для характерних режимів роботи.

Виконано аналіз систем керування судною електроенергетичною установкою та суднових радіонавігаційних засобів.

Розглянуті питання підвищення енергетичної ефективності судна за рахунок системи утилізації відпрацьованих газів, засобів автоматизації, цивільного захисту та охорони праці.

Ключові слова: Судновий електропривод, суднова електростанція, інтегрована система управління, алгоритм управління, дистанційне автоматизоване керування.

Аннотация

Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления контейнеровоза вместимостью 6572 контейнера

В дипломной работе выполнен анализ электротехнических систем судна типа контейнеровоз вместимостью 6572 контейнера – Miramarin – IMO 9409182. Описаны технико-эксплуатационные характеристики и конструктивные особенности судна.

Сделан расчет режимов работы и выбор электропривода подруливающего устройства. Разработана модель многоуровневого преобразователя частоты, включая

систему ШИМ, обеспечивающую повышение энергетической эффективности использования источников питания, а также принципиальная схема системы управления электропривода.

Выполнен расчет судовой электроэнергетической системы. Табличным методом рассчитана мощность и сделан выбор дизель-генераторов судовой электростанции. Описаны бесщеточный синхронный генератор и его система возбуждения. Разработаны однолинейные схемы главного и аварийного распределительных щитов. Описана схема распределения электроэнергии по судну. Выбраны средства автоматизации СЭЭС, разработана функциональная схема автоматизированной системы управления СЭЭС, проведена разработка алгоритмов управления СЭЭС для характерных режимов работы.

Выполнен анализ систем управления СЭЭС, рассмотрены аспекты использования системы утилизации тепла выхлопных газов, судовых радионавигационных средств.

Рассмотрены вопросы гражданской обороны и охраны труда.

Ключевые слова: Судовой электропривод, судовая электростанция, интегрированная система управления, алгоритм управления, дистанционное автоматизированное управление.

ABSTRACT

Electrical, Electronics and System Management containership with number of containers 6572

The containership with number of containers 6572 was considered in the diploma work. Technical-operating descriptions and structural features of ship were described. The calculation of the operating modes and the choice of the electric thruster. A model of a multilevel frequency converter and Pulse Width Modulation algorithm of a three-phase voltage system with 3-rd subharmonic are developed.

The calculation of ship power system is executed. By a tabular method power was expected and the choice of number diesel-generators of ship power-station is done. A brushless synchronous generator and his system of excitation are described. Single-line diagram main and emergency switchboards were developed. The diagram of distributing of electric power on a ship is described. Was chosen the automation of SPS, developed

functional diagram of automated control system (ACS) SPS, done the development algorithms of control system of SPS for typical operating mode.

The analysis of waste heat recovery system, control system of ships power plant and navigational equipment are made.

The questions of maintenance of ships electric equipment and automatization, as well as the civil defense and labor protection are lighted up.

SHIP ELECTROMECHANICS, SHIP POWER-STATION, INTEGRATED
SYSTEM MANAGERMENTS, MANAGEMENT ALGORITHM, REMOTE
AUTOMATED CONTROL

ЗМІСТ

Завдання до дипломної роботи	2
Анотація	7
ЗМІСТ	10
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	13
ВСТУП.....	14
1. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА	16
2. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПІДРУЛЮЮЧОГО ПРИСТРОЮ.....	21
2.1. Розрахунок та вибір електродвигуна, аналіз режимів роботи.....	21
2.2. Розрахунок і вибір комутаційно-захисної апаратури.....	37
2.3. Розрахунок втрати напруги.....	38
2.4. Вибір схеми живлення, управління та апаратних засобів управління	35
3. СУДНОВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА.....	42
3.1. Розрахунок потужності та вибір числа агрегатів суднової електростанції.....	42
3.2. Вибір акумуляторів та перетворювачів електроенергії.....	54
3.3. Вибір раціональної структури СЕЕС та розробка однолінійної схеми ГРЩ та АРЩ.....	55
3.4. Розрахунок струмів короткого замикання, вибір генераторних автоматів.....	62
3.5. Вибір системи збудження синхронних генераторів.....	72
3.6. Перевірка кабелю одного з найбільш віддаленого електропривода на втрату напруги.....	79
3.7 Розрахунок провалу напруги СЕЕС під час пуску найбільш потужнішого споживача електроенергії.....	80
3.8 Вибір засобів автоматизації, розробка структурної схеми системи управління, розробка алгоритмів управління СЕЕС.....	84
3.9 Функції автоматичного пуску та синхронізації дизель-генераторів...	94

4. АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА ПРИСТРОЇВ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ.....	99
4.1. Система дистанційного управління ГД.....	99
4.2. Технічні характеристики і конструктивні особливості суднової комп'ютерної мережі інформаційних і управляючих систем.....	103
4.3. Технічні характеристики та конструктивні особливості основних пристроїв управління судна, системи контролю, сигналізації та внутрішнього зв'язку.....	105
4.4 ГМЗСБ і навігація. Технічні характеристики та конструктивні особливості електро-радіо- навігаційних пристроїв та радіозв'язку.....	107
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....	
5.1. Вживання при нестачі води і їжі. Організація життя на рятувальному засобі.....	
5.2. Використання запобіжних пристроїв обладнання і безпечних систем управління на робочих місцях.....	
Висновки за розділом 5.....	
ВИСНОВКИ	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	105
ДОДАТОК А: Система управління підрулюючим пристроєм.....	
ДОДАТОК Б: Таблиця електричного навантаження СЕЕС.....	
ДОДАТОК В: Однолінійна схема ГРЩ і АРЩ.....	
ДОДАТОК Г: Система автоматизації СЕЕС DEIF та алгоритм виведення СЕЕС із знеструмленого стану.....	
ДОДАТОК Д: Система ДАУ головного двигуна Auto Chief C20 та алгоритм роботи системи.....	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АВ – Автоматичний вимикач

АДГ – Аварійний дизель-генератор

АКБ – Акумуляторні батареї

АКП – Автоматичний керуючий пристрій

АПС – Аварійно-попереджувальна сигналізація

АРЩ – Аварійний розподільчий щит

АРН – Автоматичний регулятор напруги

БККП – Блок контролю кривої пуску

ГД – Головний двигун

ГА – Генераторні агрегати

ГСА – Граф-схема алгоритму

ГРЩ – Головний розподільчий щит

ДАУ – Дистанційне автоматизоване управління

ДГ – Дизель-генератор

ДК – Допоміжний котел

ЕЗА – Електричні засоби автоматизації

ЕОМ – Електронна обчислювальна машина

ЕУ – Енергетична установка

КЗ – Коротке замикання

ККД – Коефіцієнт корисної дії

КСК ТЗ – Комплекс систем керування технічними засобами

ПД – Приводний двигун

ПТЕ – Правила технічної експлуатації

РЩ – Розподільчий щит

СДУ – Суднова дизельна установка

СЕС – Суднова електростанція

СЕУ – Суднова енергетична установка

СУ – Система управління

ВСТУП

Важливою особливістю розвитку сучасного світового виробництва є суттєве поширення транспортного сполучення, зокрема за рахунок надвеликих контейнерних суден. В суднах такого класу широко впроваджено найсучасніші системи електропостачання та електроприводи. Насамперед, це високовольтні суднові мережі і високовольтні перетворювачі частоти..

Судна транспортного флоту обладнуються великою кількістю різних електрифікованих механізмів, схемами енергоустаткування та автоматики, які відрізняються значною різноманітністю систем керування. Сучасні технології дозволяють застосовувати різноманітні технічні засоби збору, перетворення, передачі й відображення інформації, формування, передачі й реалізації керуючих впливів на технічні об'єкти.

Сучасні комп'ютерні технології відкривають перед розробниками суднових систем управління багато нових можливостей. Висока продуктивність мікропроцесорної техніки в поєднанні з малими габаритами і вартістю дають можливість використовувати на судні управляючі комп'ютерні мережі для обробки інформації про стан суднових об'єктів і управління складними системами. Такі управляючі комплекси забезпечують нормальне протікання технологічних процесів в керованих об'єктах, підтримують безаварійне та безпечне їх функціонування і дають можливість управляти рухом судна і всіма необхідними для цього технічними засобами без безпосередньої участі обслуговуючого персоналу.

Економія електроенергії та паливних ресурсів, зменшення шкідливих викидів та зменшення частки отруйних речовин в відпрацьованих газах визнано найважливішим напрямком енергетичної політики в світі. Особливе значення має використання раціональних, з мінімальним споживанням електроенергії, способів керування технологічними процесами. Комплексна механізація й автоматизація процесів на судні вимагають впровадження регульованого електропривода. Більшість сучасних технологічних установок на морському транспорті оснащені електроприводом з асинхронними двигунами. Вони характеризуються простотою конструкції і обслуговування, високою економічністю та надійністю на відміну від

синхронних двигунів. Але великий пусковий струм (6-7 I_n) і неможливість регулювання швидкості при номінальній частоті живлячої напруги потребує використання керованих електроприводів.

З метою зменшення втрат енергії та підвищення коефіцієнту корисної дії на судах використовують багаторівневі системи виробництва теплової та електричної енергії за рахунок тепла відпрацьованих газів.

Хоча первинні витрати на такі системи досить великі, але вже з моменту першого запуску вони починають виправдовувати себе – значно економиться витрата електроенергії, а значить і палива, навіть у важких пуско-гальмівних режимах.

Системи керування (СК) виконують повністю функції автоматичного регулювання, контролю, захисту, діагностування стану технічних засобів за участю людини-оператора або без його особистої участі.

На сучасних судах кількість споживачів електроенергії суднової електростанції безупинно збільшується, потужності споживачів ростуть, відповідно ростуть і потужності судових електричних станцій. Відбувається підвищення рівня розвитку й удосконалювання електроустаткування судових електростанцій у наступних напрямках:

- Розширення застосування комплексної автоматизації судових електростанцій і загально-судових систем;
- Підвищення надійності, гнучкості й економічності електричних установок і станцій шляхом розширення електрифікації та автоматизації суден;
- Підвищення якості вироблюваної електричної енергії;
- Удосконалення конструкцій машин, апаратури, приладів шляхом впровадження нових технологій.

Все це дозволить здійснити перехід до більш повного об'єму автоматизації управління суднової енергетичної установки судна і, як наслідок, до більшого ступеню безпеки мореплавання.

1. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА

1.1. Опис корпусу судна та рушія, головної енергетичної установки та допоміжних механізмів

Судно Miramarin – IMO 9409182 – контейнеровоз, призначене для транспортування та перевезення контейнерів розмірами 20 та 40 футів у будь-яких водах та кліматичних умовах. Максимальна місткість 20-футових контейнерів складає 6572, контейнерів масою 14 т – 4874, є можливість підключення 500 рефрижераторних контейнерів.



MIRAMARIN at Antwerpen 16 August 2012

Детальна характеристика судна

Name	MIRAMARIN
------	-----------

Previous names	2010 Launch as: CMA CGM Kessel - Valletta - Malta - South West Container Lines Ltd. 2010-03.2011 Miramarin - Valletta - Malta - South West Container Lines Ltd. 2011-02.2012 APL Dubai - Chartered: American President Lines
Type	Cellular containership
IMO-number	9409182
Call sign	9HA2280
Flag	Malta
Port of registry	Valletta
GT	73.779 t
DWT	85.522 t
NT	42.486 t
Number of 20ft containers	6.572
Container capacity 14t	4.874
Reefer capacity	500
Length	299,20 m overall 286,70 m between perpendiculars
Breadth	40,00 m
Draught	14,50 m
Freeboard	5.823 mm
Depth	24,60 m
Speed	24,1 knots
Built	2010
Keel laid	10.04.2009
Launch date	04.06.2009

Date of completion	20.01.2010
Builder	Hanjin Heavy Industries & Construction Co., Ltd. Pusan South Korea
Yard number	N203
Hull material	Steel
Watertight compartments	11
Continuous decks	2 Machinery aft
Main engine	1x MAN B&W 10K98MC-C - 2 stroke 10 cylinder 980 x 2.400 mm diesel engine - 57.100 kW / 77.582 hp at 104,0 rpm Built: 31.12.2008 Builder: Doosan Heavy Industries & Construction Co., Ltd., Changwon - South Korea
Propellers	1x Screw propeller solid 10.00 at 104 rpm
Boilers	1x CHO KangRim Heavy Ind 76,00 m ² - 10,0 bar 1x CHR KangRim Heavy Ind 713,00 m ² - 10,0 bar
Generators	4x HiMSEN 9H25/33 main diesel generatorsets each 2.625 kVA - 2.100 kW - 3.003 hp
Emergency generator	1x Diesel generatorset 313 kVA - 250 kW - 401 hp
Bow thruster	1x 2.000 kW
Number of holds	8
Total capacity of holds	365.563,87 m ³
Fuel Capacity	10.296,08 m ³
Handling gear	None

Manager	Cardiff Marine Inc. 80, Kifissias Av. GR-15125 Amaroussion Greece
Owner	DryShips Inc. 80 Kifissias Avenue Marousi Athens Greece
Registered owner	South West Container Lines Limited

Максимальна швидкість судна в повному завантаженні – 24.1 вузла.

На судні встановлено в якості головного двигуна дизель типу MAN B&W 10K98MC-C - 2 stroke 10 cylinder 980 x 2.400 mm diesel engine - 57.100 kW / 77.582 hp at 104,0 rpm. Рушій судна – бронзовий суцільно литий гвинт діаметром 10 m.

Підрулюючий пристрій – 1 реверсивний баутрастер на носі судна потужністю 2.000 kW.

Енергетична установка складається з 4-х дизель-генераторів HiMSEN 9H25/33 main diesel generatorsets each 2.625 kVA - 2.100 kW - 3.003 hp та аварійного дизель-генератору потужністю Diesel generatorset 313 kVA - 250 kW - 401 hp.

2. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПІДРУЛЮЮЧОГО ПРИБОРУ

2.1. Розрахунок та вибір електродвигуна, аналіз режимів роботи

Потужність встановленого на судні двигуна складає 2000 kW при швидкості обертання 995 грт, що надає змогу визначити номінальний момент навантаження з урахуванням запасу на падіння напруги:

$$M_v = \frac{\eta P_n}{\omega_n} = \frac{0.8 * 2000000}{995\pi / 30} = 15400 \text{ Nm}, \quad (2.1)$$

де P_n – номінальна потужність на валу електродвигуна, kW; η – коефіцієнт запасу, ω_n – номінальна швидкість обертання двигуна.

Для двигунів потужністю більше 1 MW керування швидкістю та моментом доцільно забезпечувати шляхом використання високовольтного перетворювача частоти. Високовольтні каскадні перетворювачі частоти розповсюджуються у різних галузях техніки з потужними споживачами, в тому числі у суднових електроприводах підрулюючих пристроїв, в високовольтних суднових електроенергетичних станціях. Їх використання забезпечує багатократне зменшення витрат електротехнічних матеріалів, зменшення маси електричних машин та кабелів, а також покращує енергетичні показники – THD (Total Harmonic Distortion), EEDI (Energy Efficiency Design Index) та EEOI (Energy Efficiency Operational Index) [1, 2].

В загальному випадку використання перетворювачів частоти є найбільш економічним способом регулювання швидкості обертання і продуктивності електроприводу. Це дозволяє забезпечити:

- енергозбереження, так як асинхронний двигун працює в оптимальному енергетичному режимі при будь-якій швидкості та навантаженні;
- практична незалежність швидкості від навантаження навіть без зворотного зв'язку за швидкістю, оскільки жорсткість електромеханічних характеристик при частотному керуванні не менша, ніж жорсткість природної характеристики.

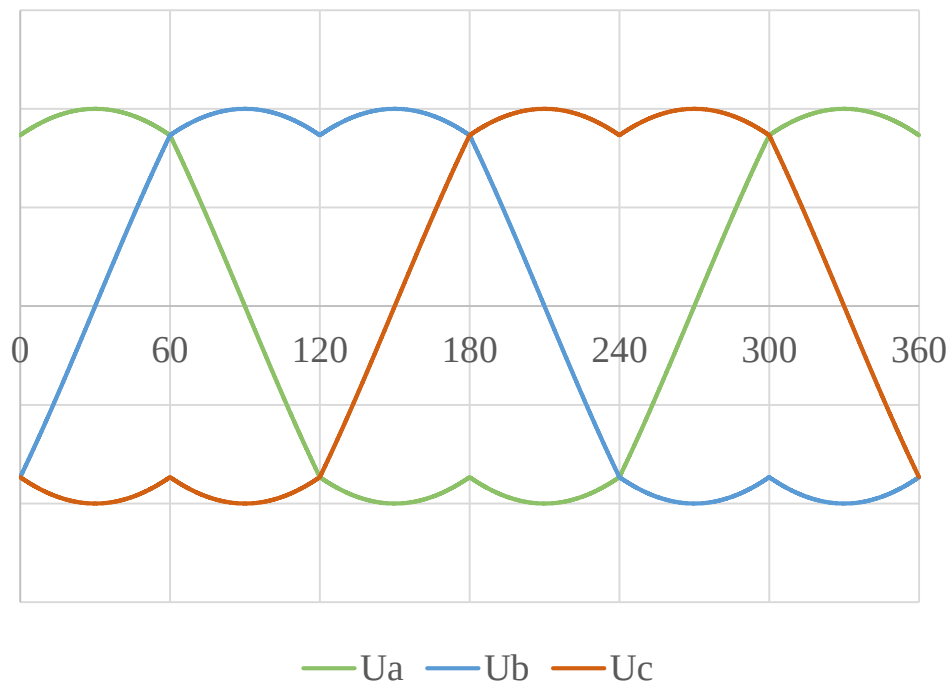
- електромагнітну сумісність з судною електроенергетичною мережею, оскільки завдяки використанню конденсаторів в випрямлячах та у випадку використання силового трансформатора в високовольтних каскадних перетворювачах частоти практично не генеруються перешкоди в судову мережу, перетворювач частоти має коефіцієнт потужності близький до одиниці.

Більшість сучасних високовольтних перетворювачів будують за схемою каскадного послідовного з'єднання окремих Н-модулів в кожній фазі («cascaded H-bridge converter») (рис. 2.1, а). Кожна комірка є окремим 4-квADRантим ШІМ інвертором, що дозволяє легко діагностувати несправність та вимикати її з роботи, не зупиняючи виконавчий механізм [3–5]. За цією структурою можна досягти будь-яких рівнів вихідної напруги [4], оскільки кожний окремий модуль працює з «низькою» напругою, зазвичай до 1000 V з використанням широко розповсюджених силових транзисторів 12 класу (1200 V – максимальна напруга). Принципи керування окремими ключами обумовлюються їх типом – IGBT, GTO, IGCT, SGCT, а керування модулем та групою модулів в фазах – методами ШІМ. Серед відомих проблем перетворювачів частоти, які вирішують розробники, є, по-перше, забезпечення найменшої кількості вмикань-вимикань ключів за період напруги живлення при одночасному забезпеченні необхідного рівня гармонійних спотворень за напругою та струмом, по-друге – підвищення ефективності використання джерел живлення за потужністю.

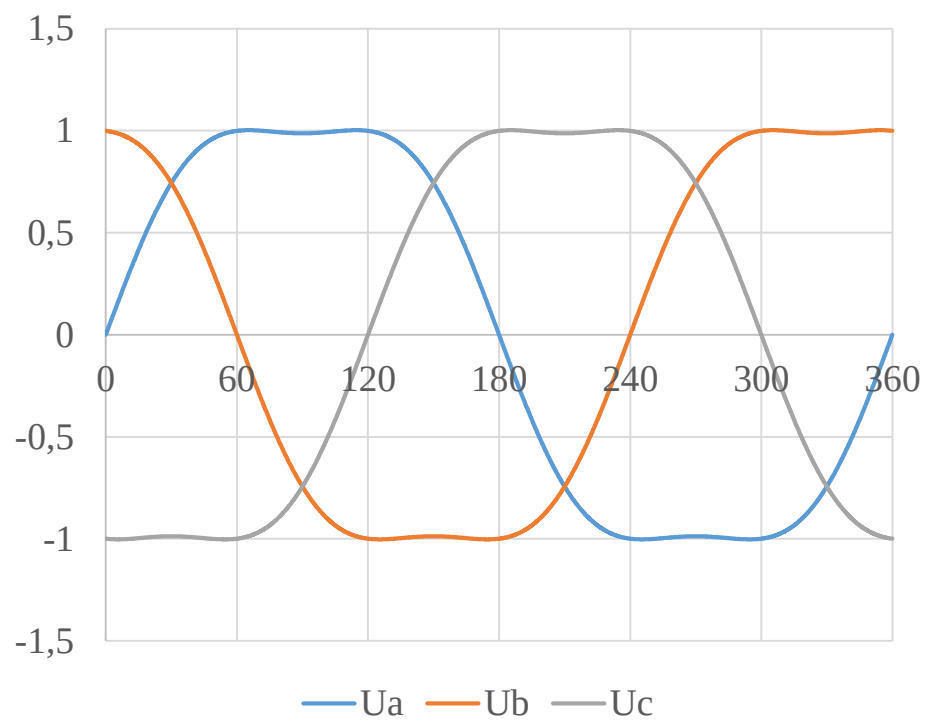
Останній показник обумовлений тим, що при формуванні синусоїдальної форми вихідної напруги її амплітуда не може перевищувати амплітуду джерела живлення постійного струму. Тому, відповідно, діюче значення згенерованого синусоїдального сигналу дорівнює лише 0.707 від амплітудного значення. Тобто 29.3 % від потужності джерела не використовується.

Найбільший показник використання потужності джерела живлення забезпечують метод комутації базових векторів (просторово-векторна широтно-

імпульсна комутація, Space Vector Pulse Width Modulation SVPWM) [6–8] (рис. 2.1, а) або метод додавання третьої гармоніки (рис. 2.1, б).



а)



б)

Рисунок 2.1. – Напруга фаз при використанні методів підвищення коефіцієнта використання потужності джерела живлення постійного струму: просторово-векторна ШІМ (а), додавання 3-ї гармоніки (б)

В обох випадках забезпечується підвищення амплітуди першої гармоніки приблизно на 16 %, що надзвичайно важливо для потужних електроприводів.

Принцип підвищення напруги 1-ї гармоніки пояснює рис. 2.2, де видно, що сума напруги 1-ї та 3-ї гармоніки не перевищує умовної одиниці, але напруга 1-ї гармоніки більше 1 на 16 %. Важливо, що в обох випадках за рахунок взаємної компенсації в трьох фазах, зсунутих на 120 градусів, лінійна напруга має синусоїдальну форму, відповідно, в асинхронному двигуні при підключенні зіркою не виникає електромагнітних процесів, викликаних $3n$ гармоніками.

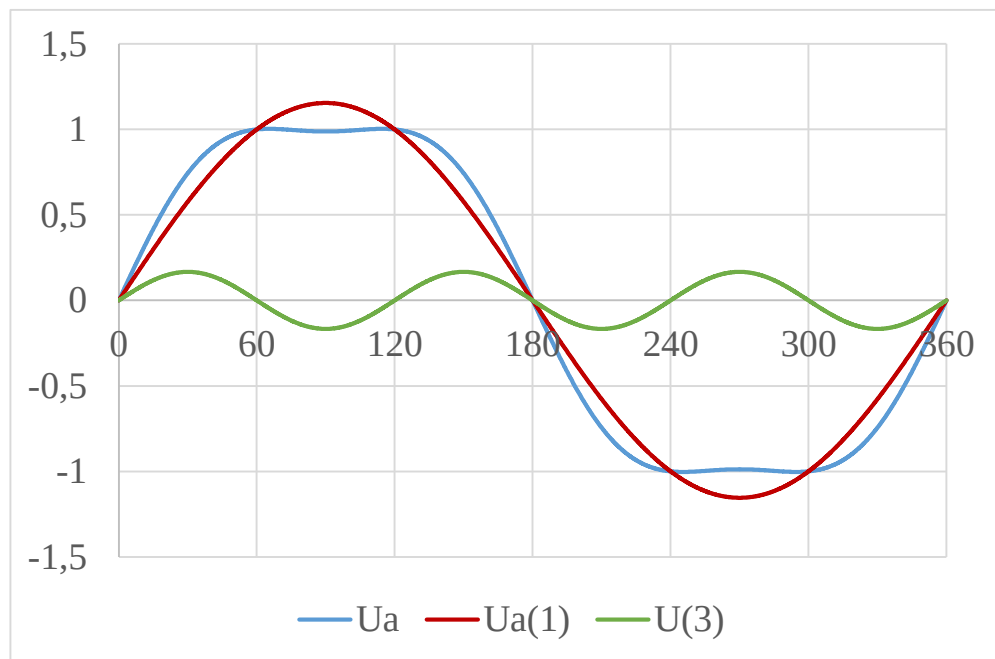


Рисунок 2.2. – Напруга фази, 1-ї гармоніки та 3-ї гармоніки при використанні методу додавання 3-ї гармоніки (б)

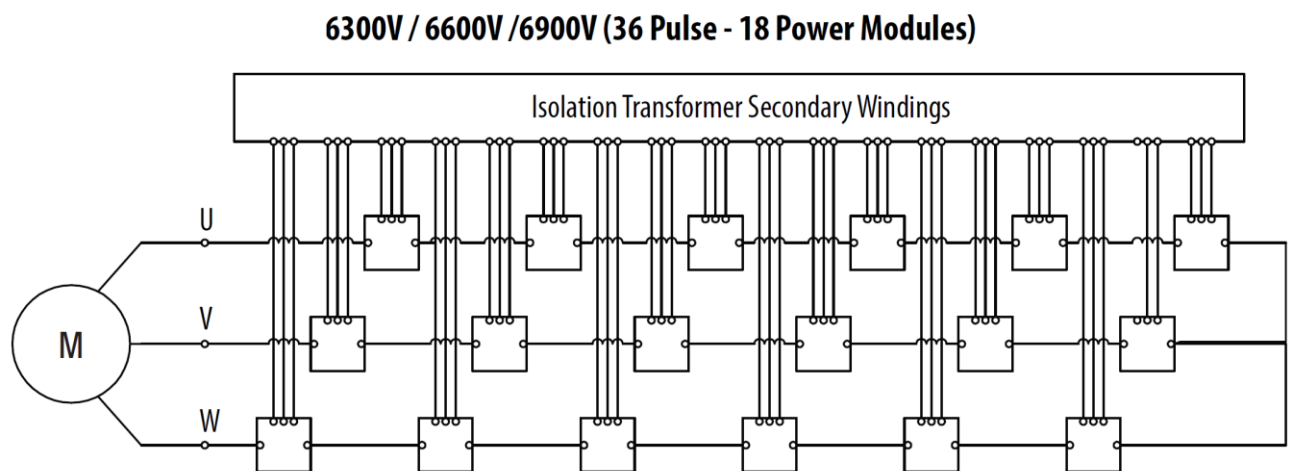
Мета розділу – створити модель каскадного високовольтного перетворювача частоти, дослідити перехідні процеси пуску та гальмування при використанні

скалярного принципу керування за законом $\frac{U}{f} = \text{const}$, так як цей закон задовольняє вимогам підрулюючого пристрою з вєнєляторним характером навантаження.

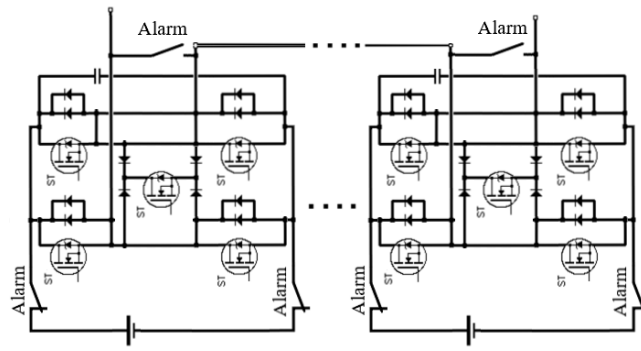
Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз принципів формування вихідної напруги високовольтних перетворювачів частоти;
- побудувати модель багаторівневого перетворювача модульного типу;
- провести дослідження роботи при скалярному законі керування ШІМ каскадного АІН.

Вихідними даними для моделювання є потужність 2 MW та номінальна швидкість двигуна 104.7 s^{-1} , номінальна напруга високовольтного перетворювача частоти 6.6 kV, кількість каскадів в фазах перетворювача – 6. В якості базової приймаємо топологію ПЧ Allen Bradley серії Power Flex 6000 [9] (рис. 2.3, а). Для напруги від 6300 до 6900 V використовується конфігурація з Н-модулями, по 6 в кожній фазі, з'єднаними послідовно, з додатковим транзистором для отримання нульового рівня вихідної напруги при збереженні контуру струму (рис. 2.3, б).



a)



б)

Рисунок 2.3. – Спрощена силова схема 6-рівневого перетворювача частоти (а) та одна фаза каскадного багаторівневого інвертора з Н-мостами (б)

Модель каскадного багаторівневого перетворювача частоти побудовано в середовищі Matlab / Simulink [11, 12]. Загальний вигляд моделі зображено на рис. 2.4.

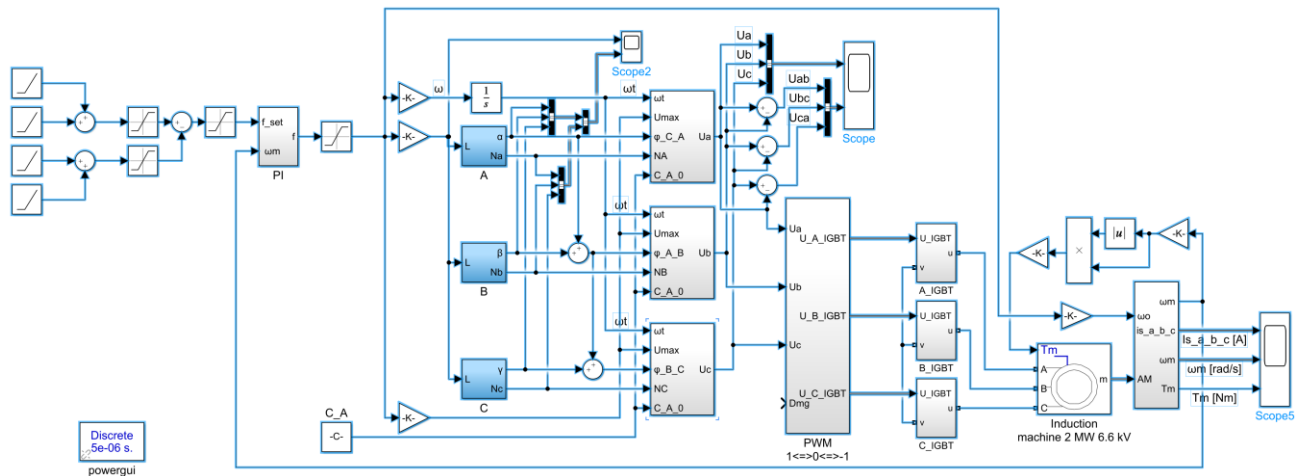


Рисунок 2.4. – Модель високовольтного каскадного перетворювача частоти з асинхронним двигуном та вентиляторним навантаженням

Параметри схеми заміщення потужного АД марки ABB/AMD710X6T VABM наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики АД марки ABB/AMD710X6T VABM

Номінальна потужність	2.0 MW	Коефіцієнт потужності	0,9
Напруга	6600 V	Номінальний момент	15400 Nm
Частота	50 Hz	Відносний пусковий струм	6.7
Частота обертання	995 rpm	Відносний пусковий момент	0.8
Струм	177 A	Відносний макс. момент	2.5
Параметри схеми заміщення			
Опір статора R1 (120°C)	0.1783	Опір ротору R2' (40°C)	0.1335
Індуктивність статора L1	0.01176	Індуктивність ротора L2'	0.009189

Ці параметри внесені в модель типового двигуна в Matlab / Simulink, так як загальні принципи моделювання низько- та високовольтних електричних машин, створених з однакових електротехнічних матеріалів не відрізняються.

Block Parameters: Induction machine 2 MW 6.6 kV

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration

Parameters

Advanced

Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA),Vn(Vrms),fn(Hz)]: [2000000, 6600, 50]

Stator resistance and inductance[Rs(ohm) Lls(H)]: [0.1783, 0.01176]

Rotor resistance and inductance [Rr'(ohm) Llr'(H)]: [0.1335, 0.009189]

Mutual inductance Lm (H): 0.52567/2

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]: [278, 0, 3]

Initial conditions

[slip, th(deg), ia,ib,ic(A), pha,phb,phc(deg)]:

[1,0,0,0,0,0,0]

☐ Simulate saturation

Plot

[i(Arms) ; v(VLL rms)]: [0 0;0 0]

OK

Cancel

Help

Apply

Параметри високовольного ПЧ:

1. Структура АІН: 6-каскадна схема з живленням кожного Н-моста від незалежного мостового блоку живлення з фільтром-конденсатором;
2. Метод ШІМ: скалярна ШІМ з додаванням 3-ї гармоніки;
3. Частота ШІМ: 4000 Hz;
4. Елементна база модулів: IGBT-транзистори з паралельно включеними діодами зворотного струму.

Блок завдання частоти (рис. 2.5) забезпечує роботу АД на лінійній ділянці механічної характеристики за рахунок обмеження різниці між завданням та фактичної швидкості двигуна. Для підвищення точності використано найпростіший ПІ-регулятор з підібраними емпіричним шляхом коефіцієнтами.

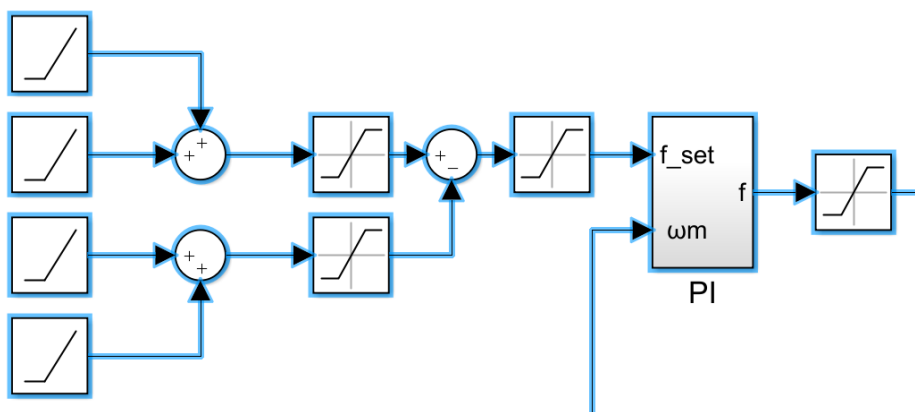


Рисунок 2.5. – Блок завдання швидкості

Далі в блоках скалярного керування (рис. 2.6) формуються сигнали частоти і амплітуди (у відносних одиницях) синусоїдального сигналу фазної напруги, пропорційні між собою з коефіцієнтом $\frac{U_n}{2\pi f_n} = \frac{6}{314.15}$, до яких додається третя гармоніка з амплітудою $\frac{1}{6}U_m$ для реалізації обраного методу підвищення ефективності використання потужності джерела живлення [13, 14].

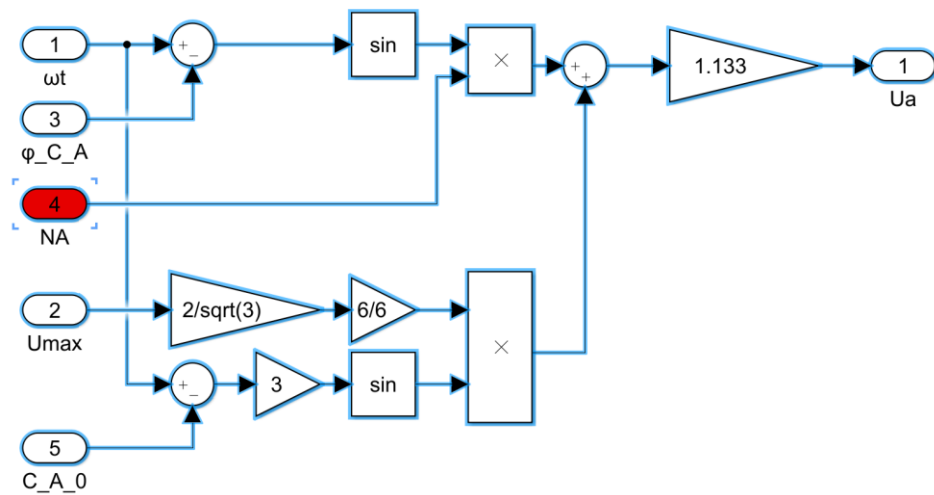


Рисунок 2.6. – Блок формування сигналу фазної напруги

Наступна частина моделі – блок ШІМ (рис. 2.7), який включає в себе три канали для фаз А, В, С, кожен з яких в свою чергу складається з трьох генераторів ШІМ-сигналів відповідно до номеру вбудованих генераторів трикутних сигналів зі зсувом відповідно кількості Н-модулів та компаратори (рис. 2.8).

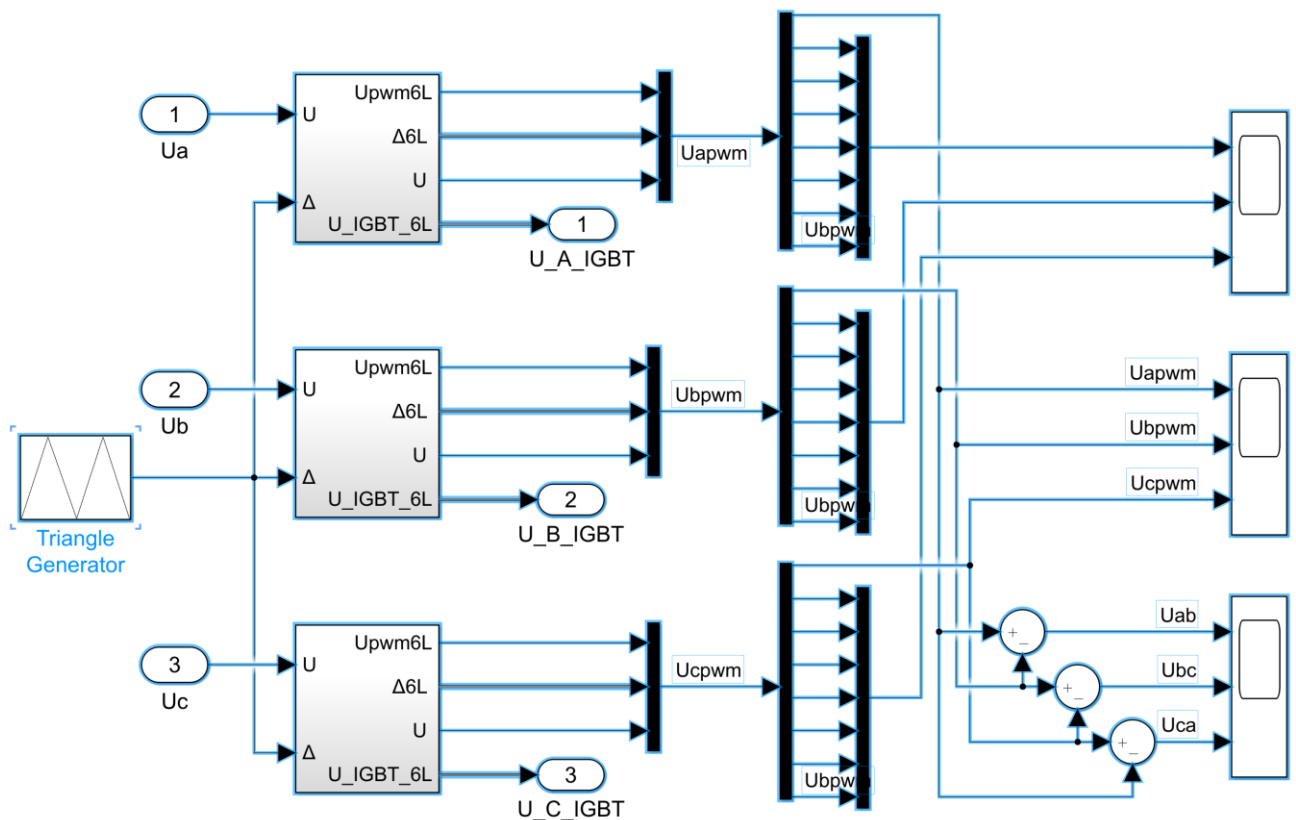
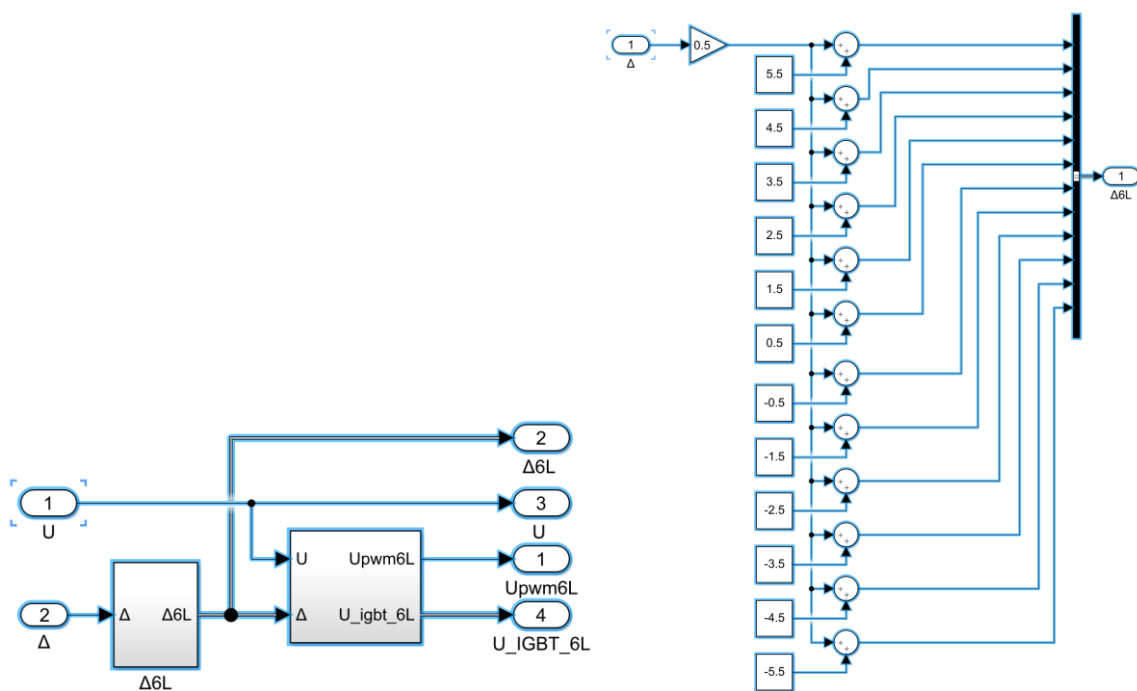


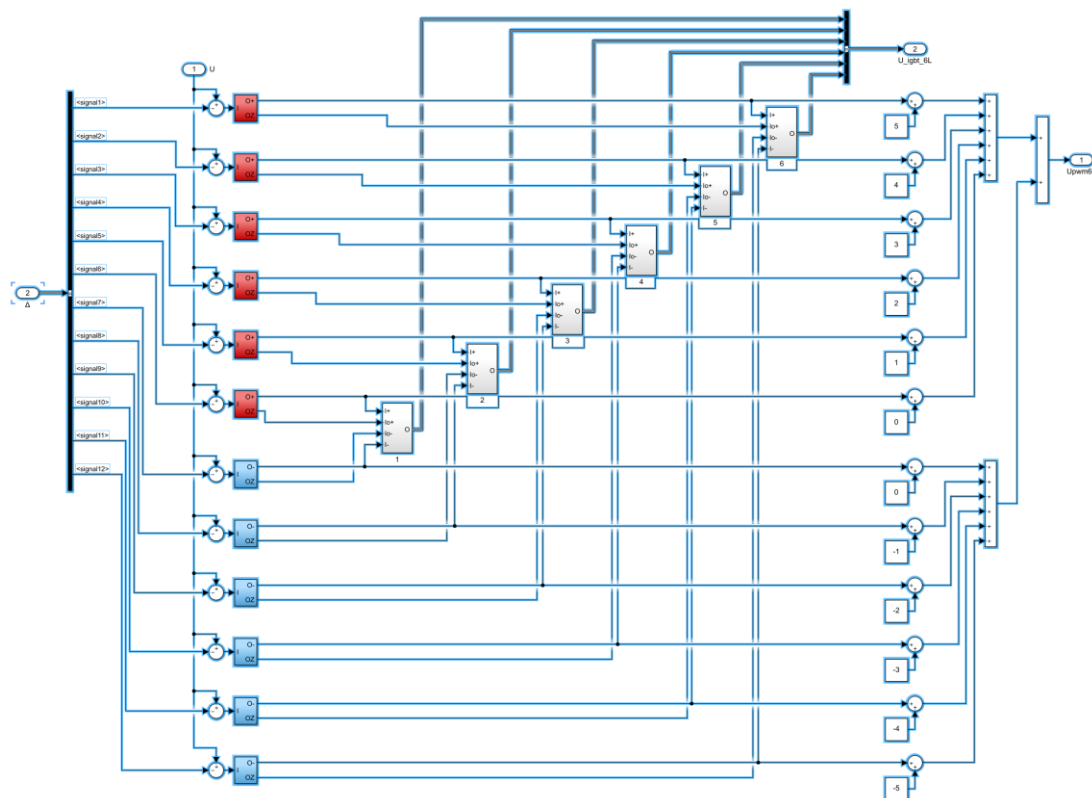
Рисунок 2.7. – Блок широтно-імпульсної модуляції

Модель силової частини складається з окремих н-модулів, з'єднаних послідовно (рис. 2.9).



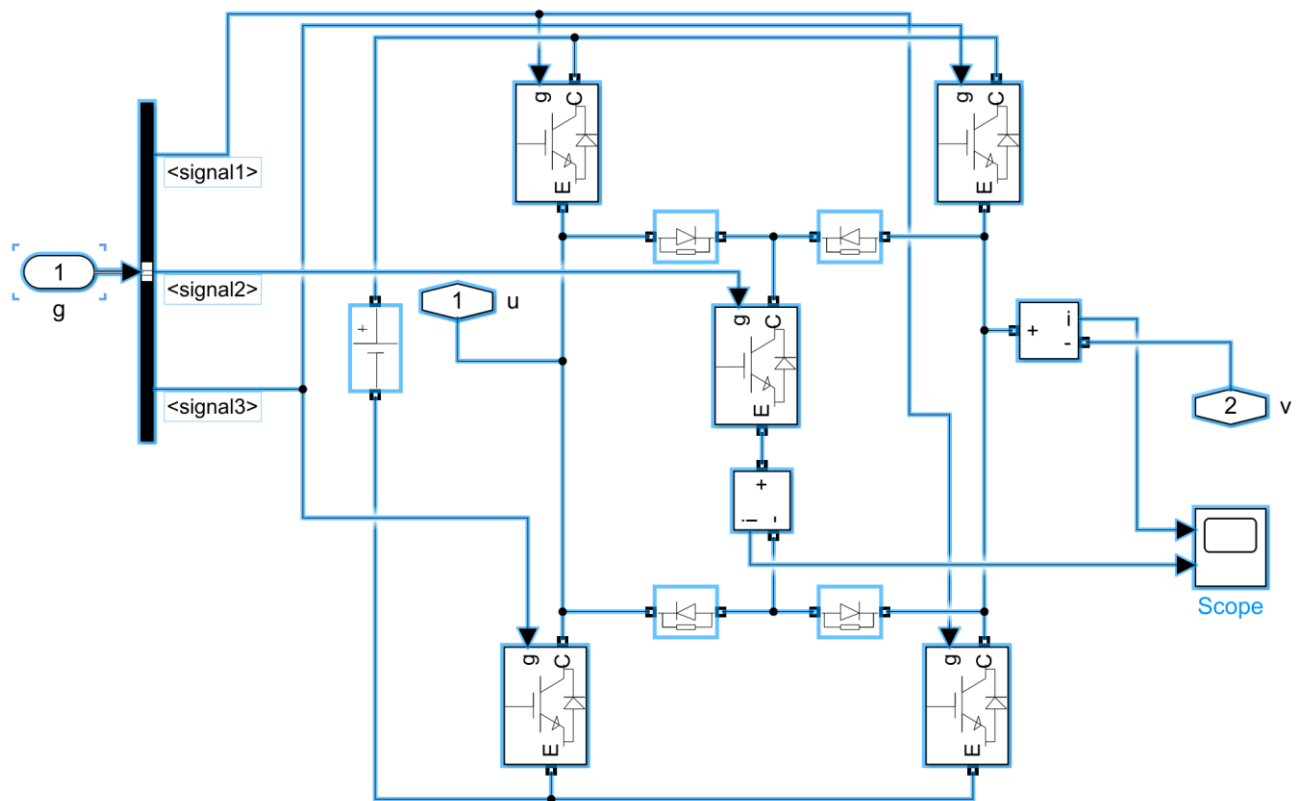
a)

б)

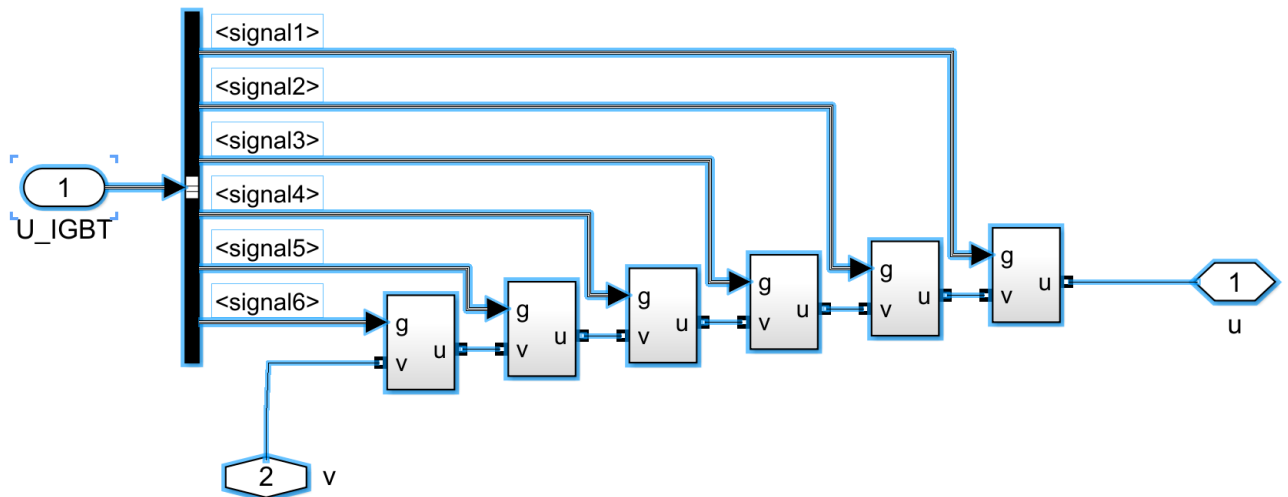


В)

Рисунок 2.8. – Підсистеми формування сигналів керування транзисторами в 6-рівневому інверторі (а), трикутних сигналів для кожного рівня (б) та компараторів



а)



б)

Рисунок 2.9. – Модель силової частини: Н-модуль (а)б одна фаза інвертора (б)

На рис. 2.10 надано модель вентиляторного навантаження – квадратичної залежності моменту опору від швидкості так, щоб при номінальній швидкості отримати заданий номінальний момент.

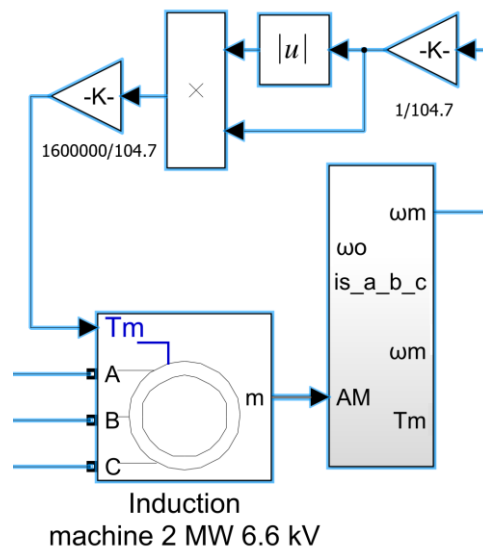


Рисунок 2.10. – Модель вентиляторного навантаження

Результати моделювання наведено на рис. 2.11–2.15.

На рис. 2.11 надано графіки перехідних процесів струмів статора, швидкості та моменту при нормальній роботі електроприводу з додаванням третьої гармоніки до фазної напруги.

Ефективність цього рішення ілюструє порівняння з рис. 2.12, на якому показано аналогічні перехідні процеси при формуванні синусоїдальної напруги в кожній фазі. Видно, що момент двигуна зменшився. Це уповільнює електромеханічну систему – час розгону та гальмування збільшується на 0.2 s, тобто на 13...20 %. Вважаючи важливість швидкої реакції підрулюючого пристрою на команди, така затримка небажана.

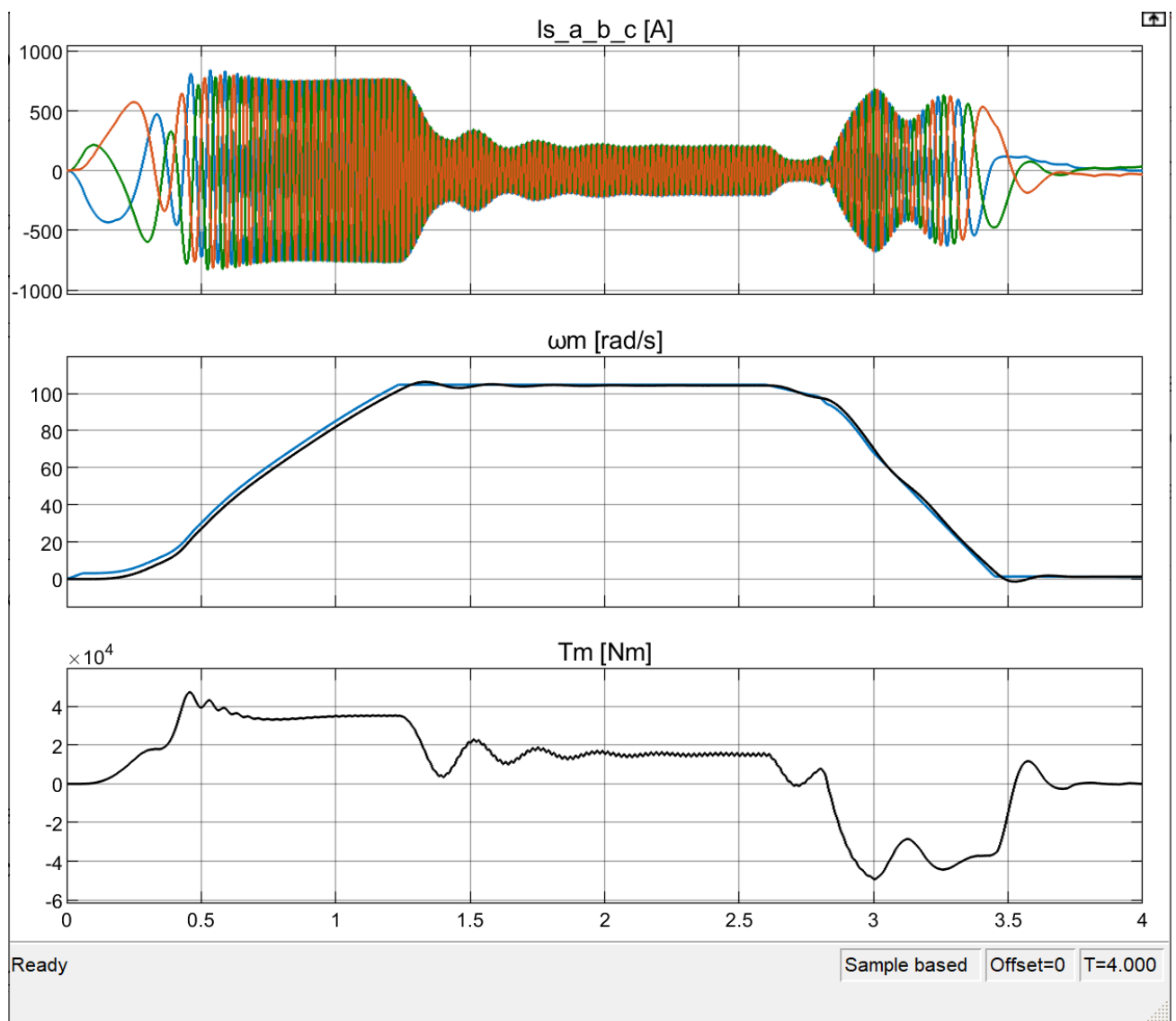


Рисунок 2.11. – Графіки перехідних процесів струмів статора, швидкості, моменту при додаванні 3-ї гармоніки до напруги фаз

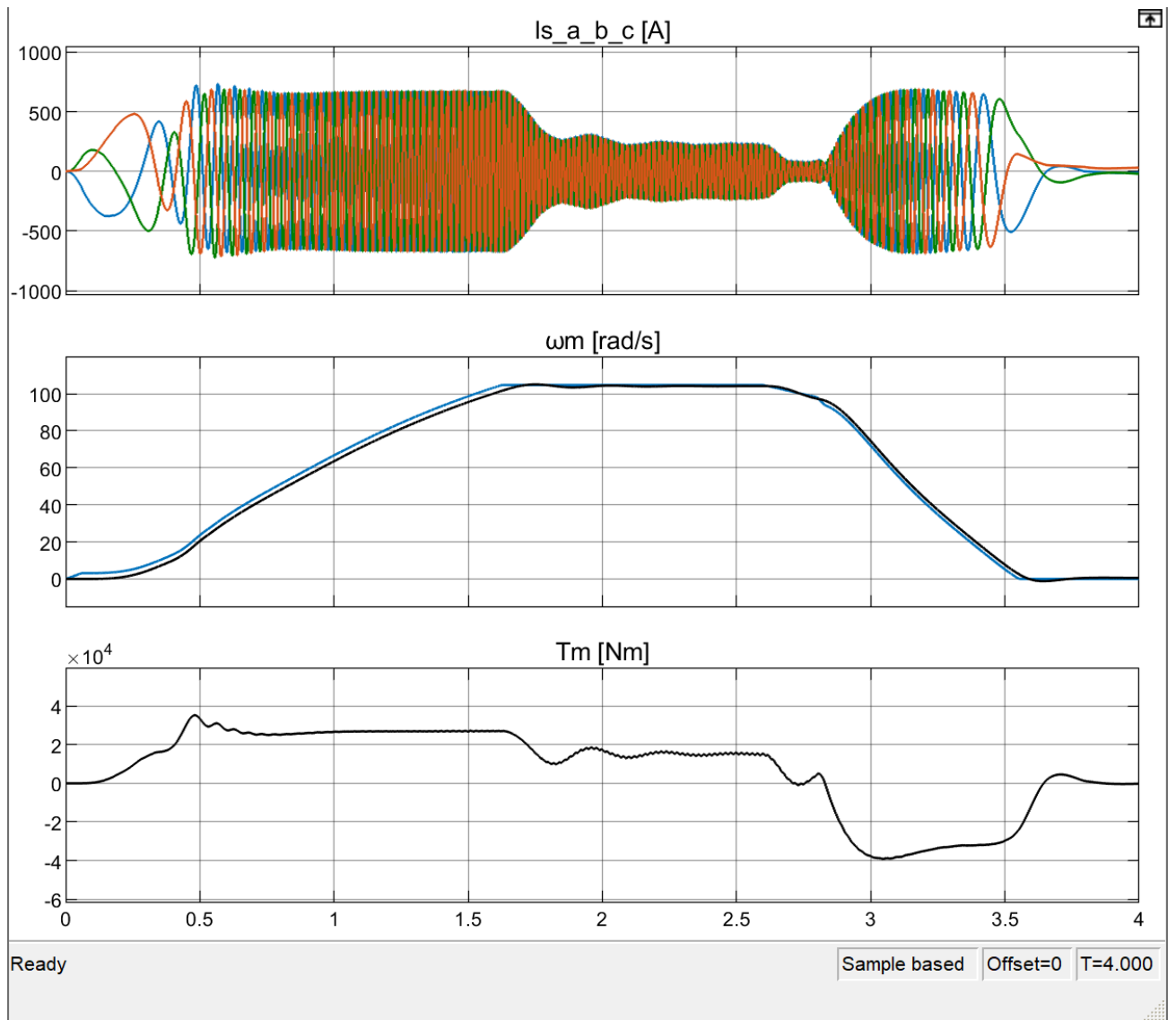


Рисунок 2.12. – Графіки перехідних процесів струмів статора, швидкості, моменту при формуванні синусоїдальної напруги фаз

На рис. 2.13 та 2.14 зображено відповідно графіки фазної та лінійної напруги, а на рис. 2.15 та 2.16 порівняно збільшені фрагменти графіків фазної та лінійної напруги при додаванні 3-ї гармоніки та при синусоїдальній формі фазної напруги.

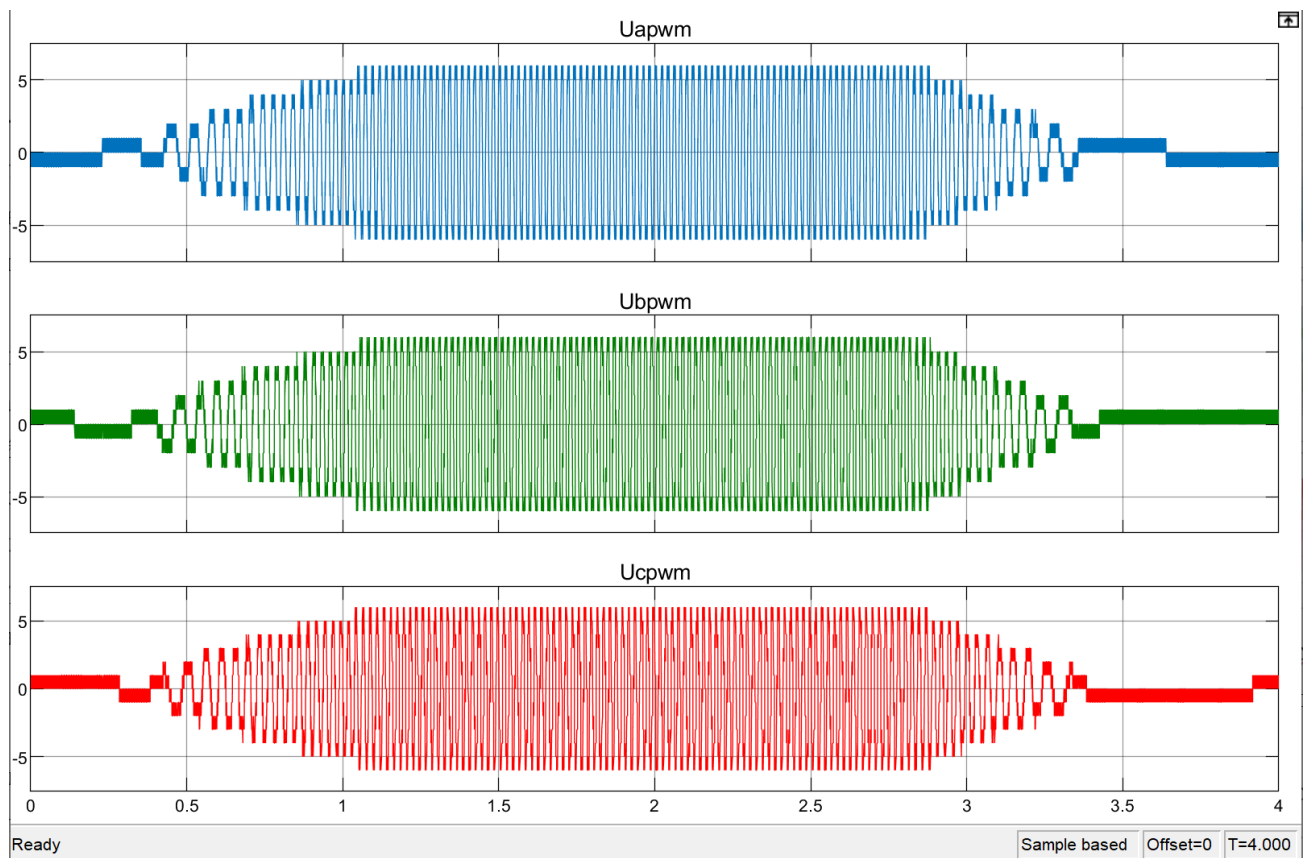


Рисунок 2.13. – Графіки широтно-імпульсної модуляції напруги фаз

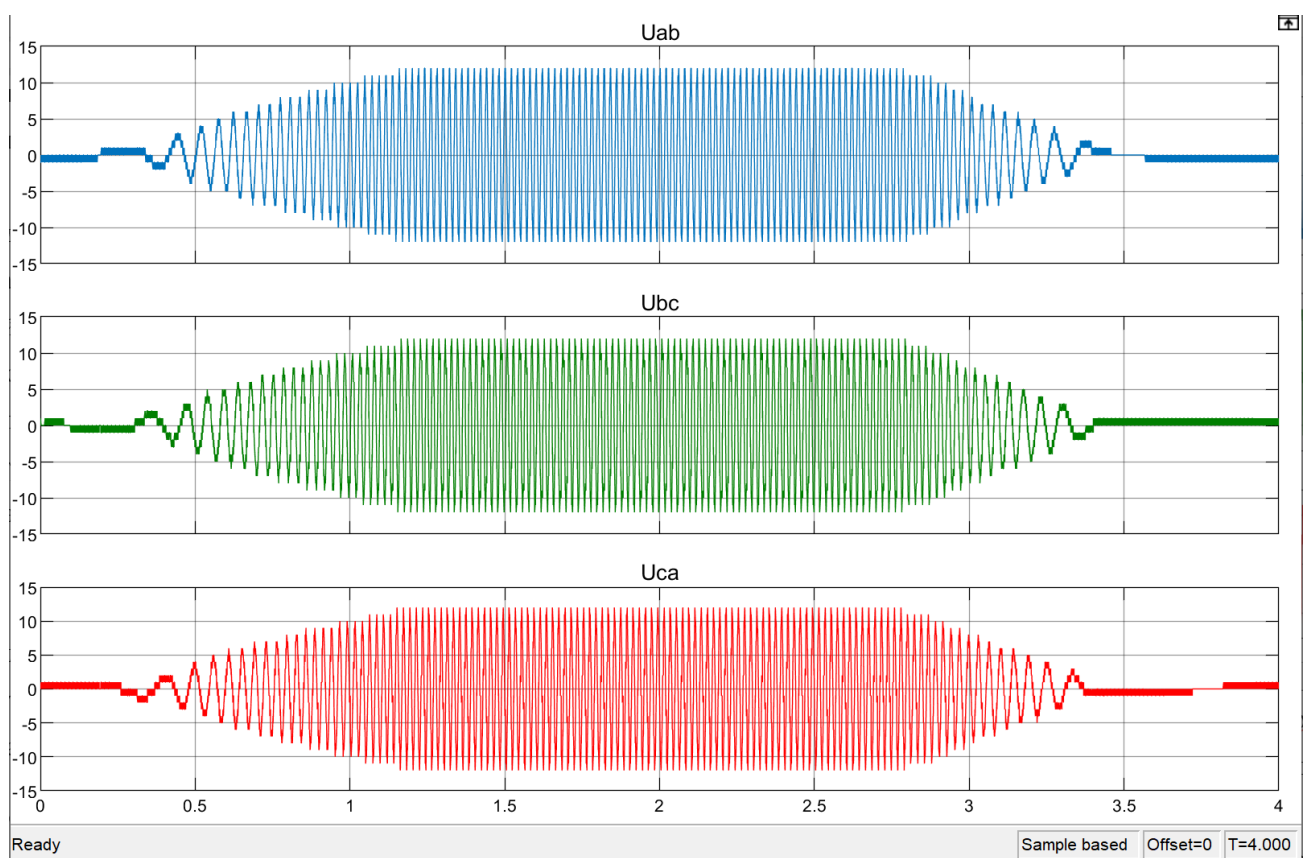


Рисунок 2.14. – Графіки широтно-імпульсної модуляції лінійної напруги

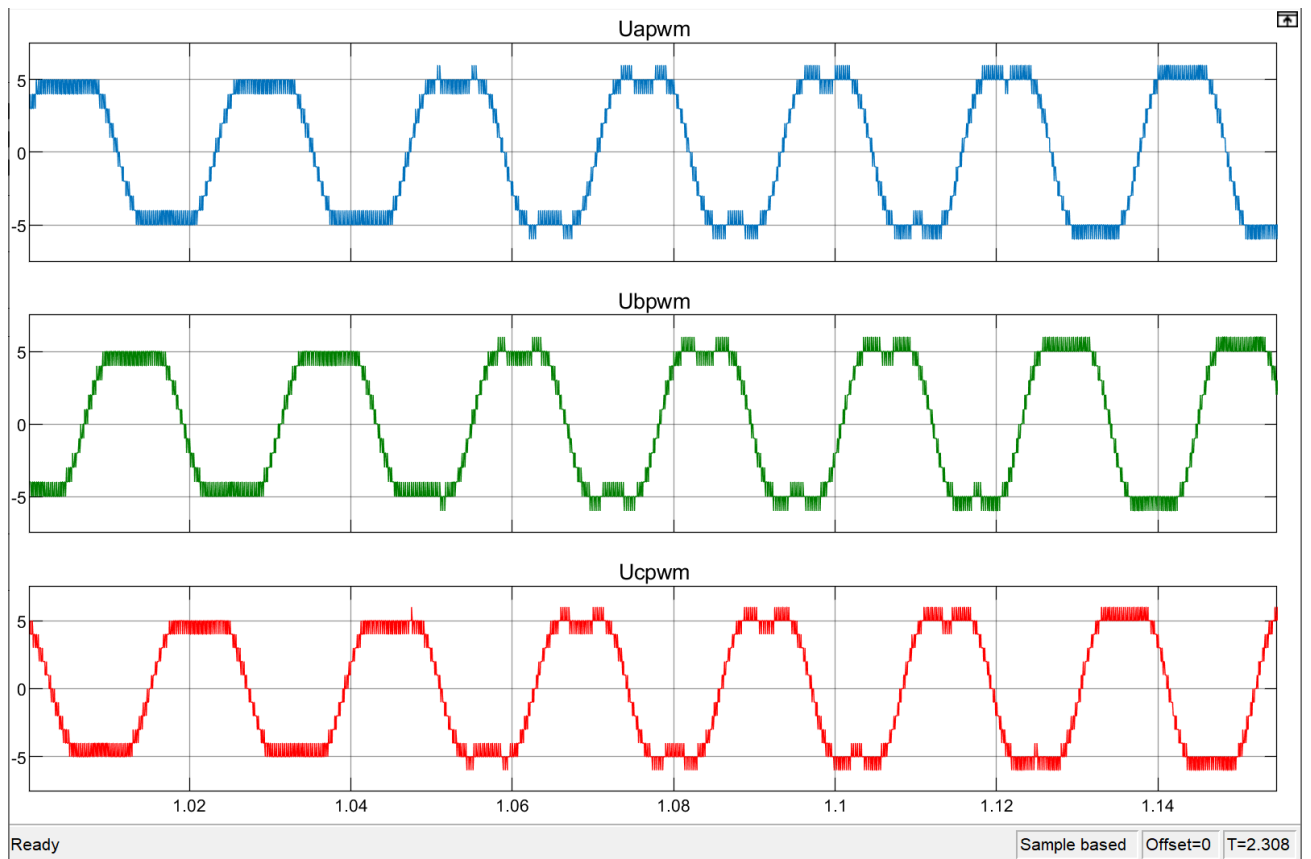


Рисунок 2.15. – ШІМ при додаванні 3-ї гармоніки

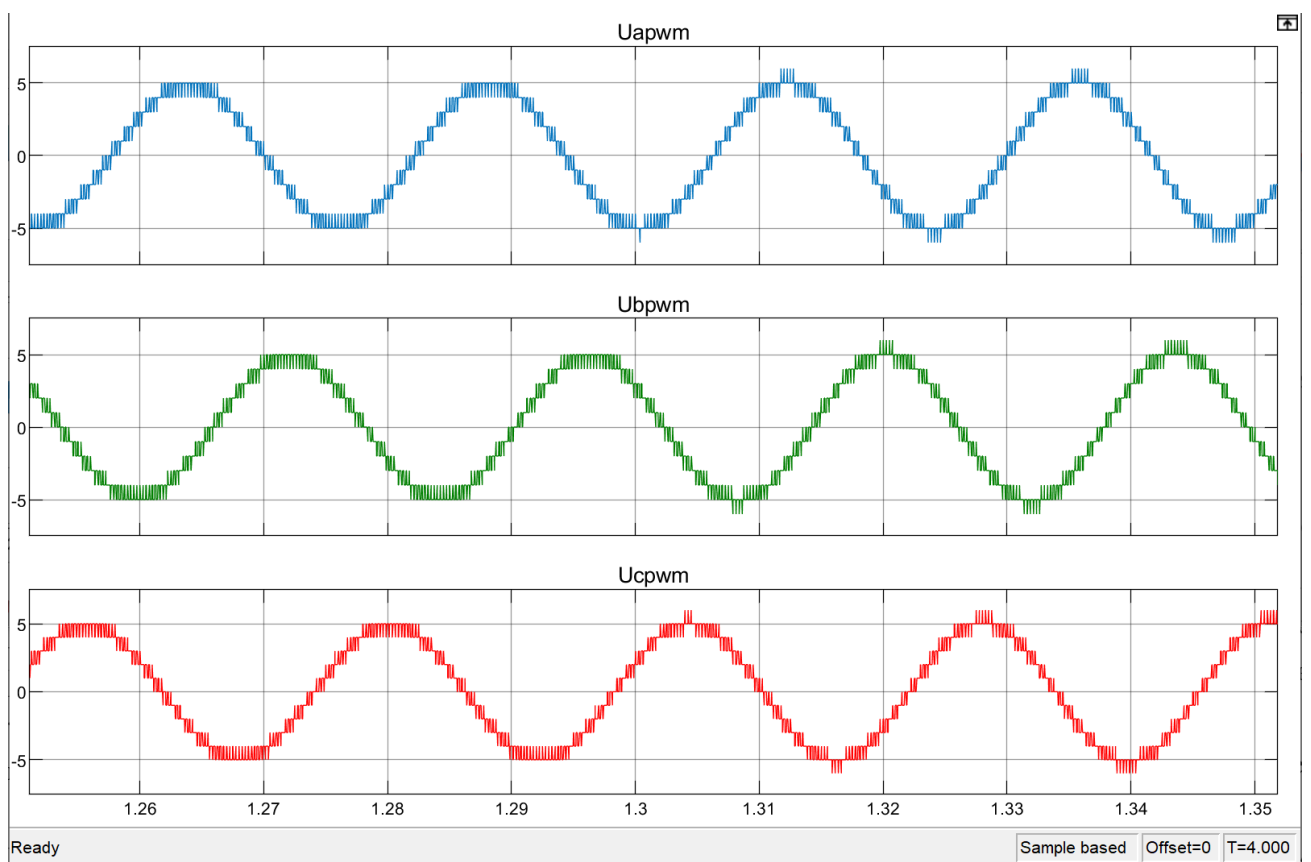


Рисунок 2.16. – ШІМ при формуванні синусоїдальної напруги фаз

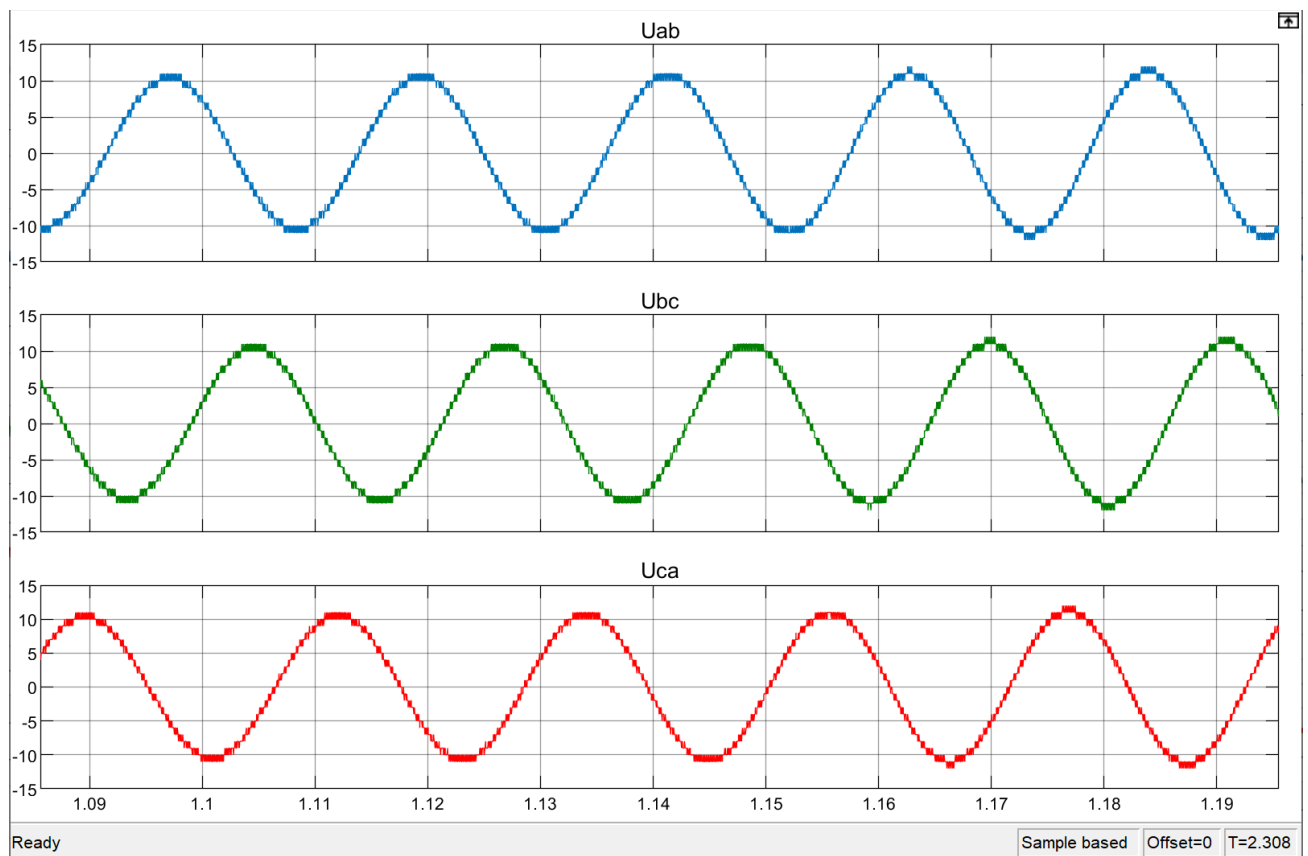


Рисунок 2.17. – Лінійна напруга при додаванні 3-ї гармоніки

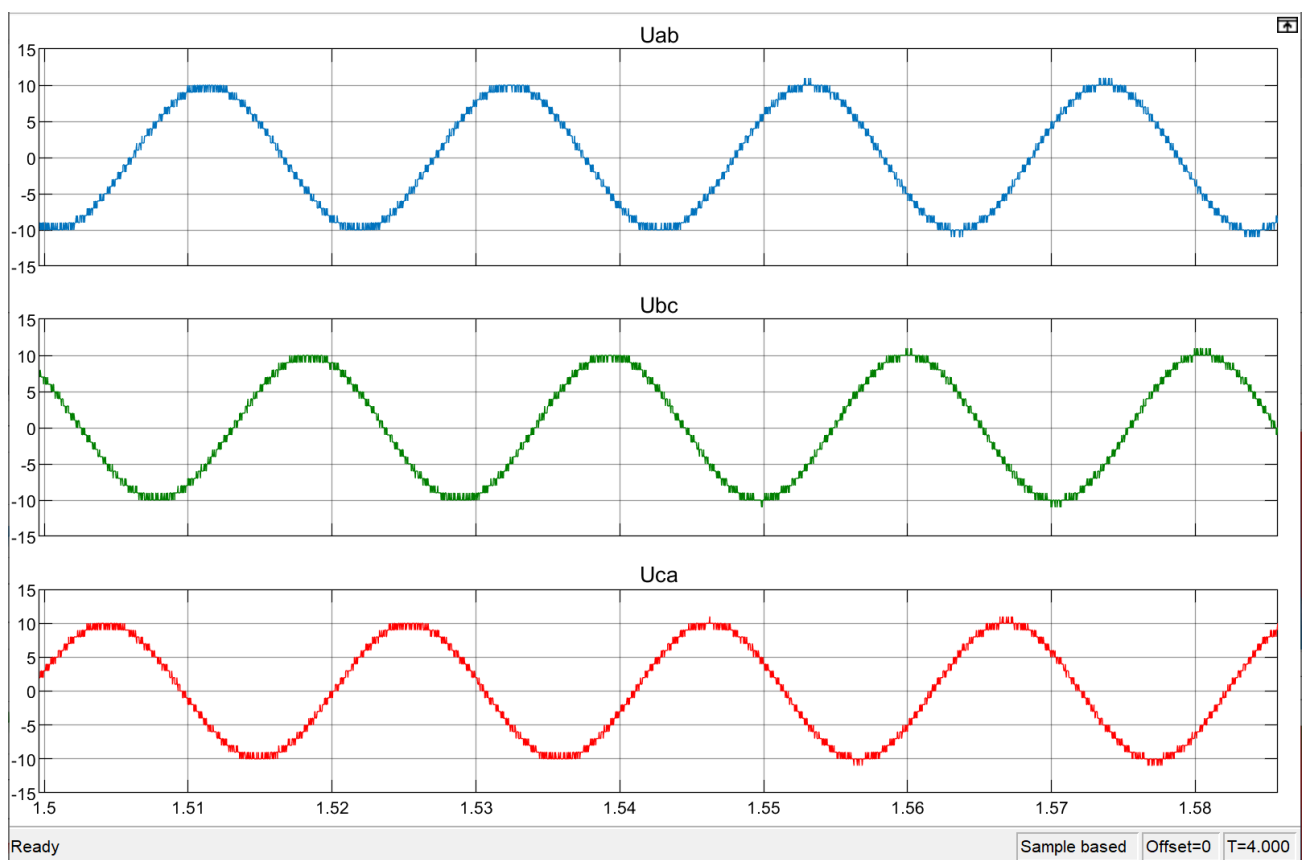


Рисунок 2.18. – Лінійна напруга при синусоїдальній ШІМ

На рис. 2.19 надано графіки перехідних процесів струмів в силових транзисторах: червоні лінії – струм в вертикалі Н-моста, сині – струм в шунтуючому транзисторі в 1-му і 6-му Н-модулі фази А. Добре видно, що в залежності від амплітуди фазної напруги змінюється відношення щільності роботи транзисторів в вертикалях та шунтуючих транзисторів.

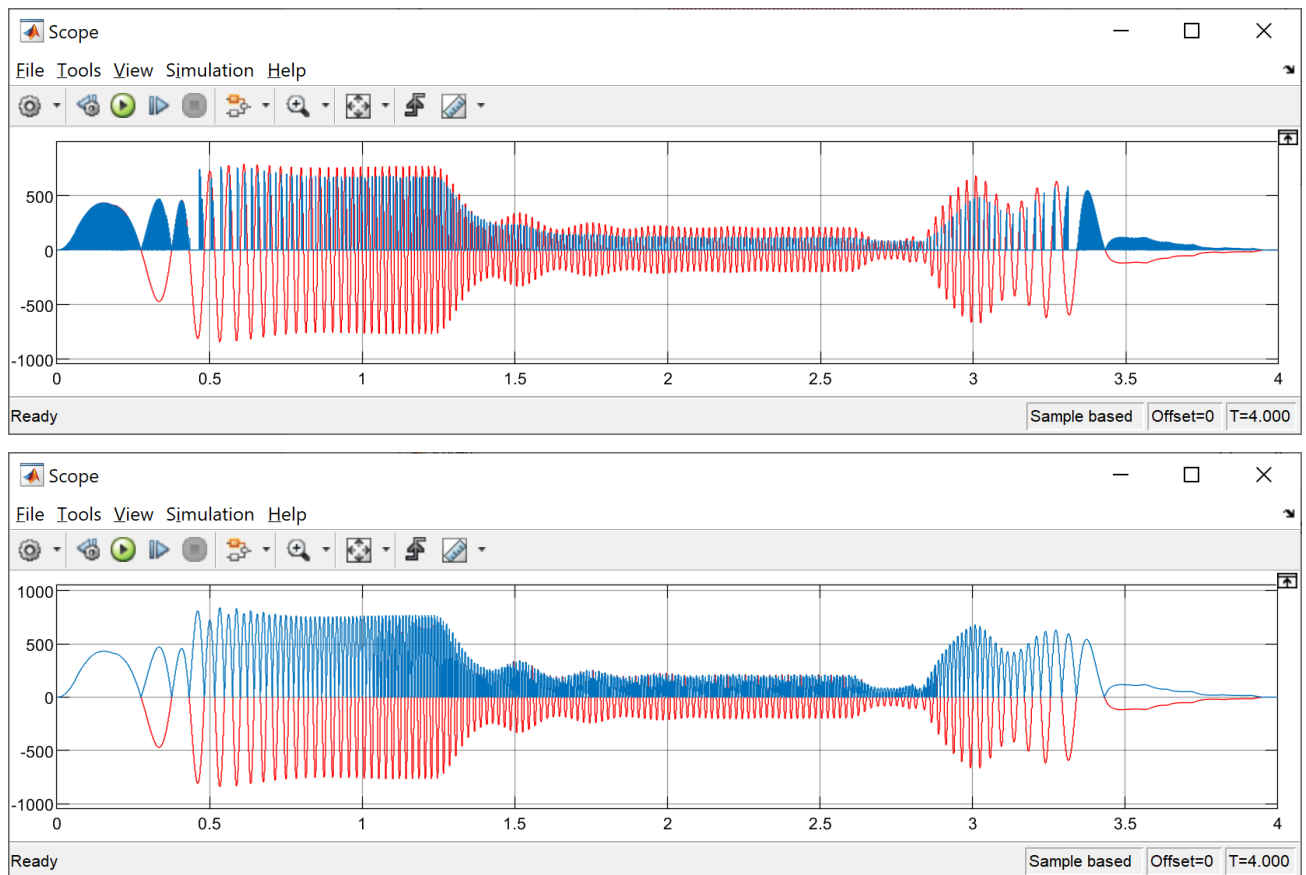


Рисунок 2.19. – Графіки перехідних процесів струму в транзисторах вертикалей Н-модулів (червоні лінії) та шунтуючих транзисторах (сині лінії) 1-го (зверху) та 6-го рівня (знизу)

Таким чином, за допомогою розробленої моделі виконано дослідження електромагнітних та електромеханічних процесів в багаторівневих каскадних перетворювачах частоти. Розроблена модель фактично відповідає алгоритму роботи системи керування, що надає змогу використовувати її для дослідження та, можливо, для удосконалення електроприводів.

Показано, що використання методу додавання 3-ї гармоніки збільшує діюче значення вихідної фазної напруги майже на 16 %, відповідно зростає і максимальний момент двигуна, зменшується час запуску та гальмування, що має суттєве значення для підрулюючого пристрою.

2.2. Розрахунок і вибір комутаційно-захисної апаратури

Вибір автоматичного вимикача. Для вибору автоматичного вимикача, що підключає електропривод, знайдемо розрахунковий струм по формулі:

$$I_H = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H} = \frac{2000000}{1,73 \cdot 6600 \cdot 0,9} = 194 \text{ A}, \quad (2.2)$$

де P_n – потужність електродвигуна, U_n – лінійна напруга живлення АД, $\cos \varphi_n$ – коефіцієнт потужності приймача.

За струмом двигуна 194 А обираємо автоматичний вимикач фірми JUCRO Electric.

Тип: 12KV VCB Vacuum Circuit Breaker HVD1-12, паспортні параметри наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Main specifications and technical parameters

NO.	Item	Unit	Parameter
1	Rated voltage	KV	12
2	Rate voltage frequency	Hz	50
3	Rated lightning impulse withstand voltage (1min)	KV	75
4	Rated short-time power frequency withstand voltage (1min)	KV	42
5	Rated short-circuit breaking current	KA	20
6	Rated current	A	630
7	Rated peak withstand current	KA	50
8	Rated shorted-time withstand current	KA	20
9	Rated shorted-time making current(peak)	KA	50
10	Power frequency withstand voltage of secondary circuit (1min)	V	2000
11	Rated operation sequence		Off-0.3s-On&Off-180s- On& Off Off -180s- On& Off -180s- On& Off*
12	Rated breaking current of capacitor bank	A	630/400 (40kA 800/400)
13	Opening time (rated voltage)	ms	20~50
14	Closing time (rated voltage)	ms	30~70
15	Rated short-circuit current breaking times	times	50 (40kA 30)
16	Mechanical life	times	30000
17	Rated opening/closing voltage	V	AC110, 220; DC110, 220
18	Rated voltage of energy-storage motor	V	AC110, 220; DC100, 220

2.3. Розрахунок втрати напруги

Знаючи необхідні величини, можна записати формулу для розрахунку втрати напруги.

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_a \cdot l \cdot 100}{\gamma \cdot S \cdot U}, \quad (2.6)$$

де I_a – активна складова струму, γ – провідність струмопровідних частин (48 м*mm²/Ohm при t = 65°C):

$$I_a = I_k \cdot \cos \varphi_n = 194 \cdot 0,9 = 174 \text{ (A)}$$

Тоді з формули (2.6), маємо:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 174 \cdot 5 \cdot 100}{48 \cdot 3 \cdot 6600} = 0.169 \, \%.$$

Таким чином, втрата напруги не перевищує припустимих значень.

2.4. Вибір схеми живлення, управління та апаратних засобів управління

Схему живлення та управління обираємо згідно зі знаком автоматизації судна та вимогами Регістра до даного типу суднових механізмів.

Технічні характеристики з каталогу компанії Rockwell Automation надано в табл. 2.3 [15].

Відповідно до технічної специфікації обираємо перетворювач частоти 6000G–B(B-Frame)–A(Normal Duty)–200(A)–K(IP42)–J(6600V)–5(Line f=50Hz)–AP(Control Voltage 240V), тобто:

PowerFlex 6000G–B–A–200–K–J–5–AP.

Перетворювачі частоти серії 6000 забезпечують важливі у морському транспорті показники.

Висока ефективність і зручність використання.

В процесі розробки високовольтного каскадного перетворювача частоти особливу увагу було приділено надійності, системам контролю та захисту, компенсації аварійних ситуацій, приводній системі в цілому, щоб забезпечити найкращу конфігураційну гнучкість, високу ефективність і сумісність з технологічним процесом. Перетворювач зберігає працездатність майже при виході з ладу 2-х з 6-и Н-модулів в кожній фазі.

Висока продуктивність

Швидке, надійне і точне управління технологічним процесом в поєднанні з малим споживанням енергії обумовлює високу продуктивність. Управління приводом відбувається швидко і плавно у всіх режимах, навіть при великих відхиленнях напруги живлення і частоти.

Сумісність з двигуном

Топологія PowerFlex 6000G передбачає оптимальну кількість рівнів комутації, які визначають багаторівневу форму вихідної напруги. Це дозволяє застосовувати стандартні двигуни напругою до 11 kV без зниження надійності.

Сполучення з мережею

Для мінімізації нелінійних спотворень PowerFlex 6000G–B–A–200–K–J оснащений 30-пульсним випрямлячем. Він відповідає вимогам щодо гармонійних спотворень струму і напруги, визначених стандартами IEEE, IEC, EN і ГОСТР. При цьому для нових приводних систем відсутня необхідність проведення дорогого аналізу гармонік або установки мережевих фільтрів.

Адаптованість, модульна конструкція

Модульна конструкція перетворювача PowerFlex 6000G без водяного охолодження дозволяє отримати оптимальну конфігурацію будь-якої приводної системи. Кожна збірка складається з перевірених і сертифікованих модулів (рис. 2.20).

Шафи, в яких розміщуються компоненти ПЧ, відповідають стандартним вимогам безпеки при роботі з високовольтним обладнанням середнього рівня.

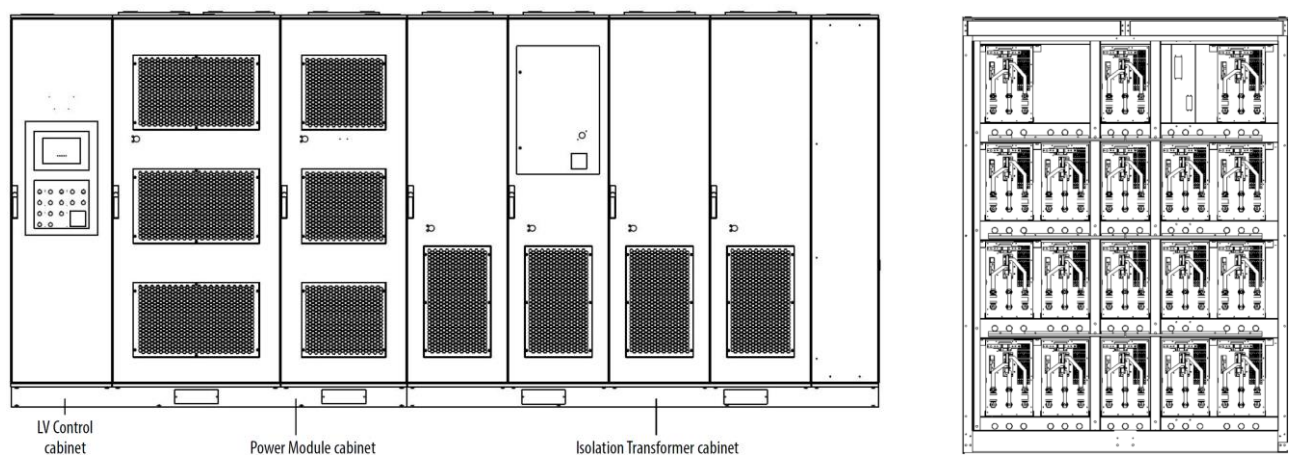


Рисунок 2.20 – Модулі ПЧ (зліва) та секція Н-мостів (справа)

Таблиця 2.3. Характеристики перетворювачів частоти PowerFlex 6000

Attribute	Value
Power Rating Range @ 2.3/2.4 kV motor voltage	112...2390 kW (183...3205 HP)
Power Rating Range @ 3.0 kV motor voltage	110...2990 kW (214...4010 HP)
Power Rating Range @ 3.3 kV motor voltage	110...3280 kW (235...4398 HP)
Power Rating Range @ 4.0/4.16 kV motor voltage	144...4140 kW (294...5552 HP)
Power Rating Range @ 6.0 kV motor voltage	200...5970 kW (268...8006 HP)
Power Rating Range @ 6.6 kV motor voltage	286...6570 kW (384...8810 HP)
Power Rating Range @ 6.9 kV motor voltage	286...6870 kW (384...9213 HP)
Power Rating Range @ 10.0 kV motor voltage	200...9950 kW (268...13343 HP)
Power Rating Range @ 11.0 kV motor voltage	200...10950 kW (268...14684 HP)
Motor Type	Induction (asynchronous) motors
Input Voltage Rating	2.4 kV, 3.0 kV, 3.3 kV, 4.16 kV, 6.0 kV, 6.3 kV, 6.6 kV, 6.9 kV, 7.2 kV, 10.0 kV, 11.0 kV
Input Voltage Tolerance	±10% of Nominal
Input Voltage Sag, minimum	-30% of Nominal
Input Frequency	50/60 Hz, ±5%
Input Impedance Device	Multiphase Isolation Transformer
Input Current THD (1st...49th)	Complies with IEEE519-1992 standard
Output Voltage	0...2300/2400V, 0...3000/3300V, 0...4000/4160V, 0...6000/6300V/6600V, 0...6900V, 0...10000V 0...11000V
Rectifier Configurations	18 pulse (2.3/2.4/3.0/3.3 kV), 24 pulse (4.0/4.16 kV), 30 pulse (6.0 kV), 48 pulse (10 kV), 54 pulse (11 kV)
Inverter Configuration	Pulse Width Modulated (PWM) power modules
Power Module Rating	36 A, 40 A, 50 A, 70 A, 75 A, 100 A, 120 A, 140 A, 150 A, 180 A, 200 A, 215 A, 250 A, 305 A, 350 A, 438 A, 560 A, 680 A
Power Semiconductors	Diodes (rectifier), IGBTs (inverter)
Medium Voltage Isolation	Fiber-optic
Control Method	Sensorless Vector Control and Volts per Hertz

Перетворювач частоти, згідно з технічною документацією, підключається до шини живлення 6600 V, а керуючі входи та виходи підключаються до суднової системи автоматизації. Силові контакти перетворювача частоти та дискретні і аналогові входи та виходи блоку керування для обраного пристрою надано на рис. 2.21 [15].

Для коректного підключення перетворювача частоти необхідно розуміти функціональну схему пристрою (рис. 2.22) та вміти обирати необхідні параметри в програмному меню вбудованого контролера (рис. 2.23) [15].

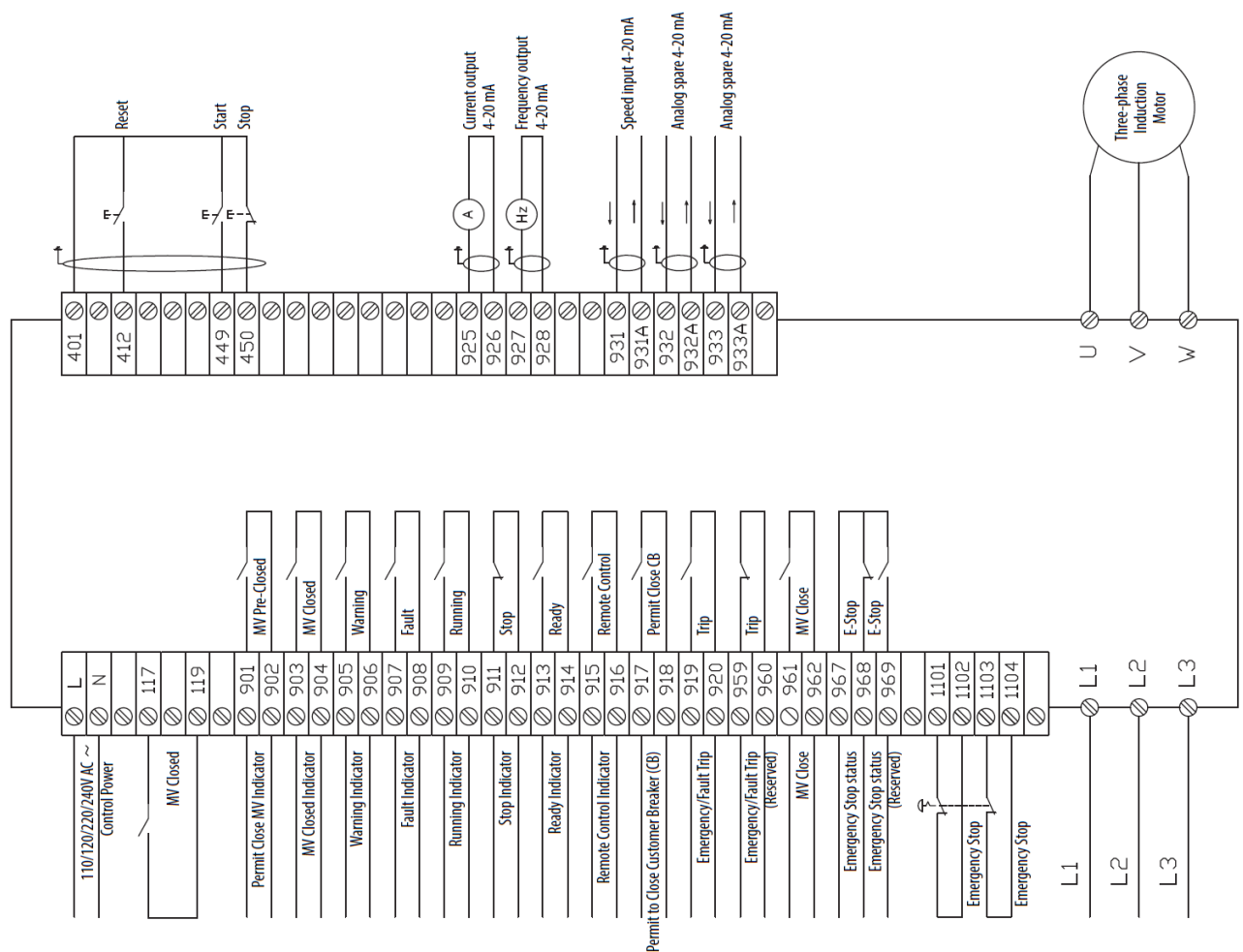


Рисунок 2.21. – Силові контакти ПЧ та дискретні і аналогові входи та виходи блоку керування

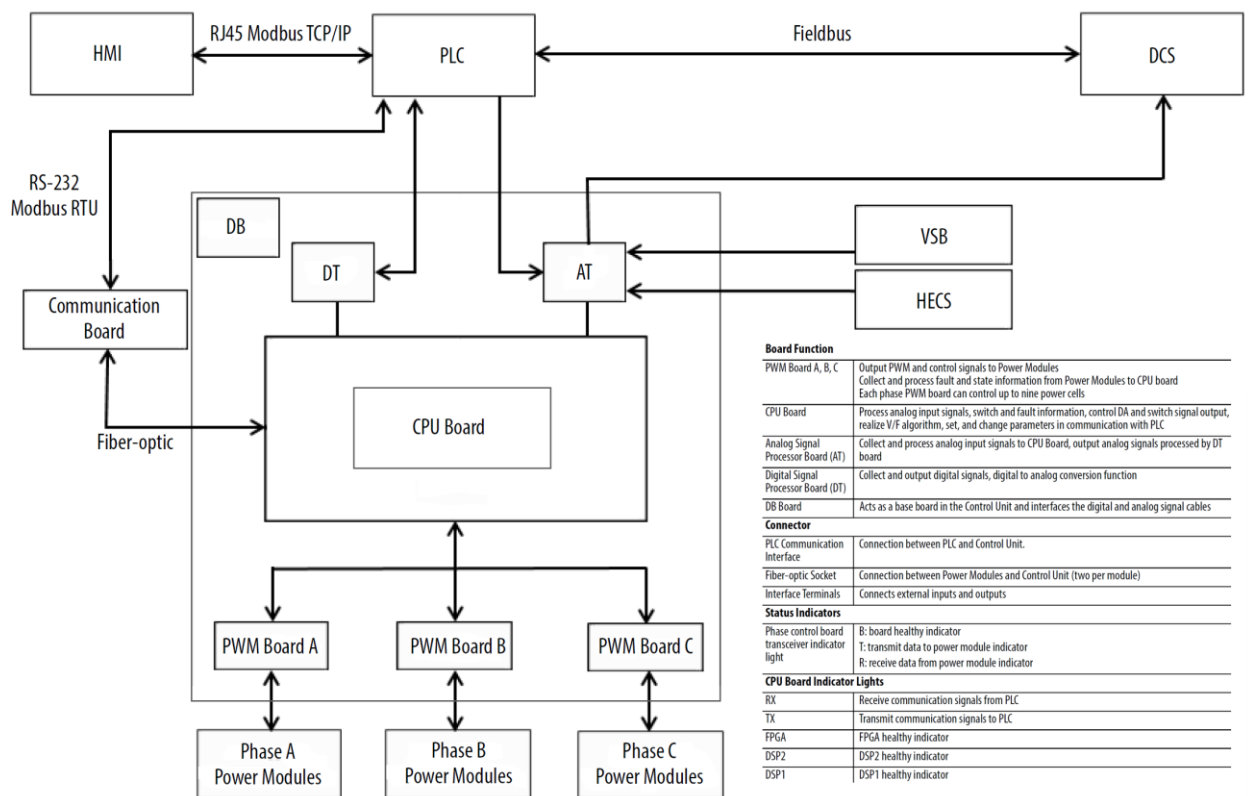


Рисунок 2.22. – Функціональна схема перетворювача частоти

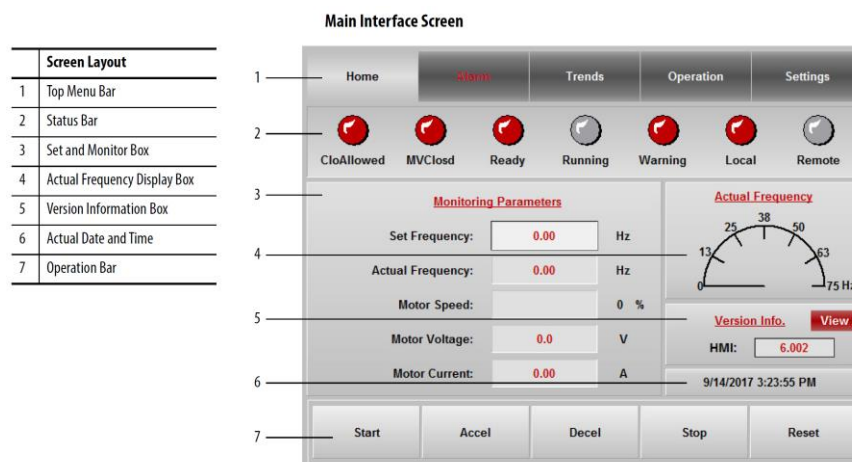


Рисунок 2.23. – Головне меню та програмні органи керування перетворювачем частоти

Таким чином, в розділі обрано обладнання для високовольтного електроприводу підрулюючого пристрою, розроблено модель для аналізу типових режимів роботи.

3. СУДНОВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА

3.1. Розрахунок потужності та вибір числа агрегатів суднової електростанції

Судновою електроенергетичною системою (СЕЕС) називається сукупність електротехнічних пристроїв, об'єднаних процесом виробництва, перетворення і розподілу електроенергії на судні. СЕЕС складається із джерел електроенергії, ліній електропередачі, перетворювачів електроенергії.

Кількість та встановлена потужність джерел електроенергії СЕС залежать від встановленої потужності споживачів електроенергії та характеру зміни споживаної потужності при різних режимах роботи судна.

Розрахунок потужності СЕС засновується на статичному аналізі реальних навантажень на СЕС та основних споживачів електроенергії. При цьому основними розрахунковими режимами роботи СЕС вважаються режими ходу та стоянки судна, без вантажних операцій судовими засобами. Інші режими роботи СЕС є похідними від основних.

Основні джерела електроенергії і суднова силова електрична мережа підключаються до головного розподільного щита (ГРЩ), а аварійні джерела електроенергії і аварійна мережа - до аварійного розподільного щита (АРЩ). Згідно з вимогами Правил Регістра, ГРЩ і АРЩ сполучаються лінією передачі електроенергії.

Для заданого судна була обрана електростанція змінного струму частотою 60 Hz з напругою силової мережі 6600 V.

Розрахунок виконаний відповідно до РД5.6168-92 «Методи розрахунків електричних навантажень» аналітичним методом постійних навантажень табличним способом.

По заданих параметрах електродвигунів (номінальна потужність P_n , kW; ККД двигуна η_n , %; коефіцієнт потужності $\cos\phi$), а також по заданим кількостям одночасно працюючих однотипних електродвигунів N_p та коефіцієнту завантаження K_z , % розраховано наступні параметри:

Споживча потужність одного електродвигуна:

$$P_{\Pi} = \frac{P_H}{\eta}, \text{ kW} \quad (3.1)$$

Для кожного з режимів роботи судна, зважаючи на кількість працюючих механізмів у даному режимі роботи судна N_p , характер роботи електродвигунів (тривалий, або короткочасний), а також на заданий коефіцієнт завантаження K_3 , %, розраховується сумарна установлена активна та реактивна потужність механізму при тривалому та короткочасному режимах роботи:

При тривалому режимі роботи:

$$P_{уд} = P_{\Pi} K_3 N_p, \text{ kW} \quad (3.2)$$

$$Q_{уд} = P_{уд} \operatorname{tg} \phi, \text{ kVAr} \quad (3.3)$$

При короткочасному режимі роботи:

$$P_{ук} = P_{\Pi} K_3 N_p, \text{ kW} \quad (3.4)$$

$$Q_{ук} = P_{ук} \operatorname{tg} \phi, \text{ kVAr} \quad (3.5)$$

Потім для кожного режиму роботи судна з урахуванням усіх споживачів розраховується необхідна активна та реактивна потужність для тривалого та короткочасного режимів:

При тривалому режимі роботи:

$$P_{ТД} = \sum P_{уд}, \text{ kW} \quad (3.6)$$

$$Q_{ТД} = \sum Q_{уд}, \text{ kVAr} \quad (3.7)$$

При короткочасному режимі роботи:

$$P_{TK} = \sum P_{yK}, \text{ kW} \quad (3.8)$$

$$Q_{TK} = \sum Q_{yK}, \text{ kVAr} \quad (3.9)$$

З урахуванням коефіцієнту різночасності K_P , який для тривалого режиму роботи становить $K_{PT} = 1$, а для короткочасного змінюється в залежності від споживача, обчислюється загальна активна P_{3AG} та загальна реактивна потужність Q_{3AG} для кожного з режимів роботи судна:

$$P_{3AG} = P_{TD} k_{PT} + P_{TK} k_{PK}, \text{ kW} \quad (3.10)$$

$$Q_{3AG} = Q_{TD} k_{PT} + Q_{TK} k_{PK}, \text{ kVAr} \quad (3.11)$$

Обчислюється загальна повна потужність S_{3AG} для кожного режиму роботи судна:

$$S_{3AG} = \sqrt{P_{3AG}^2 + Q_{3AG}^2}, \text{ kVA} \quad (3.12)$$

Після цього для кожного режиму роботи судна розраховується середній коефіцієнт потужності, що визначається відношенням загальних активної та повної потужностей:

$$\cos \phi_{CP} = \frac{P_{3AG}}{S_{3AG}} \quad (3.13)$$

Таким чином заповнюється вся таблиця для кожного з режимів роботи судна.

Потужність генераторів вибирають згідно з середнім коефіцієнтом потужності. У випадку, якщо $\cos \phi_{CP} \geq 0,8$, то генератори треба обирати по активній потужності, в іншому випадку – по повній.

У нашому випадку у ходовому режимі з рефрижераторними контейнерами:

$$\cos \phi_{CP} = \frac{4129}{4635} = 0.891$$

У маневровому режимі з рефрижераторними контейнерами та підрулюючим пристроєм

$$\cos \phi_{CP} = \frac{5634}{6060} = 0.930.$$

В режимі стоянки

$$\cos \phi_{CP} = \frac{1694}{1461} = 0.863.$$

В аварійному режимі

$$\cos \phi_{CP} = \frac{186}{217} = 0.857.$$

Таким чином усі значення середнього коефіцієнту потужності в усіх режимах роботи судна становлять більше, ніж 0,8. Це свідчить, що вибір генераторів треба робити по активній потужності.

На кожному судні повинен бути передбачено основне джерело електричної енергії потужністю, що забезпечує живлення всього необхідного електричного обладнання судна. Таке джерело повинне складатися принаймні з двох генераторів з незалежним приводом. Кількість і потужність генераторів з незалежним приводом і електричних перетворювачів, що входять до складу основного джерела електричної енергії, повинні бути такими, щоб при виході з ладу будь-якого з них була можливість забезпечення: живлення необхідного електричного обладнання при одночасному забезпеченні нормальних умов живучості на судні; підтримки або негайного відновлення живлення електричного обладнання, необхідного для забезпечення руху, керованості судна і його безпеки; пуску найпотужнішого електродвигуна з найбільшим пусковим струмом. При цьому пуск двигуна не повинен викликати такого пониження напруги і частоти в мережі, яка може спричинити випадання з синхронізму, зупинку двигуна генератора, а також відключення працюючих машин і апаратів; живлення споживачів, необхідних для запуску гребної установки при знеструмленому стані судна. Для цієї мети може бути використане аварійне джерело електричної енергії, якщо його власна потужність або сумарна потужність з будь-яким іншим

джерелом електричної енергії забезпечує одночасно живлення споживачів, вказаних вище, для чого може бути передбачена їх паралельна робота.

Визначення складу і потужності генераторів основного джерела електричної енергії повинно проводитися з урахуванням наступних режимів роботи судна:

- ходового режиму;
- режиму маневрів;
- під час пожежі, пробойни корпусу або інших, що впливають на безпеку плавання судна, умов при роботі основного джерела електричної енергії, інших режимів відповідно до призначення судна.

Для контейнеровозу найбільш важким для енергетичної системи є маневровий режим з рефрижераторними контейнерами та підрулюючими пристроями. Загальна потужність при цьому режимі становить близько 6000 kW.

Завантаження генераторів в тривалих експлуатаційних режимах повинно знаходитись в межах 70-90 % від номінального, в короткочасних режимах повинно бути не нижче 50% (вказані значення завантаження забезпечують економічну роботу генераторів). Отже, обираємо чотири дизель-генератора безщіткового типу HiMSEN 9H25/33 – 2.625 kVA – 2.100 kW – 3.003 hp.

Таким чином при маневровому режимі з рефрижераторними контейнерами та підрулюючим пристроєм можливе використання 3 дизель-генераторів, працюючих в паралелі. Розрахуємо коефіцієнт навантаження генераторів при цьому режимі:

$$k_H = \frac{P_{3AG}}{nP_G} \quad (3.14)$$

$$k_H = \frac{5634}{4 * 2100} = 0.671$$

$$k_H = \frac{5634}{3 * 2100} = 0.894$$

Таким чином, всі 4 генератора працюють з навантаженням 67 %, а три генератора – з навантаженням 89 %, тобто є можливість за правилами Регістру для

забезпечення надійної роботи електричної станції мати один резервний генератор, який зможе замінити любий з генераторів, який вийшов з ладу.

Загальна потужність при аварійному режимі складає 313 kVA. Для забезпечення надійної роботи аварійного дизель-генератору обираємо дизель-генератор більшої потужності: синхронний генератор безщіткового типу HYUNDAI HFC7-354-4 потужністю 313 kVA – 250 kW – 401 hp, напругою 460 V, частотою 60 Hz.

Таблиця 3.1 – Режими роботи СЕЕС

Режими роботи судна	Споживана потужність	Генератори	
		В роботі	В резерві
Ходовий режим з реф. контейнерами	4635	2 основних	2 основних
Маневровий режим з реф. контейнерами	6060	3 основних	1 основний
Стоянка	2625	1 основний	3 основних
Аварійний	313	1 аварійний	4 основних

Таблиця 3.2 – Паспортні дані вибраних генераторів (частота 60 Гц)

Кількість	Генератор	Тип генератора	Полюси	Потужність, kW	Потужність, kVA	Частота обертання, об/хв	Напруга, В	Струм, А	Cos(φ)
4	Основний	HYUNDAI HSRJ7-805-10	10	2100	2625	720	6600	229	0.8
1	Аварійний	HYUNDAI HFC7-354-4	4	250	313	1800	460	392	0.8

Вибрані генератори є безщітковими з самозбудженням і самовентиляцією,

забезпечені автоматичними регуляторами напруги, які дозволяють підтримувати напругу з точністю $\pm 1,5\%$ від номінального його значення, що задовольняє правилам Регістру.

3.2. Вибір акумуляторів та перетворювачів електроенергії

Тип акумуляторної батареї вибирають з урахуванням характеру навантаження і необхідної напруги приймачів електроенергії, а також призначення акумулятора (для основного або резервного живлення). Для отримання необхідної напруги допускається послідовне з'єднання будь-якого числа акумуляторів або батарей. Ємність батареї визначають за розрахунковою таблицею навантажень, в яку включено загальне число приймачів із зазначенням споживаної потужності в різних режимах.

Обираємо для аварійного живлення судна гелеві акумуляторні батареї, які мають ряд переваг в порівнянні з акумуляторами з технологією AGM при збереженні всіх їхніх переваг – герметичності, безобслуговування, практичній відсутності шкідливих газовиділень при роботі, великий термін служби. Гелеві акумулятори мають приблизно на 10-30% більший термін служби, ніж AGM акумулятори. Також вони менш болісно переносять глибокий розряд.

Обираємо акумуляторні батареї типу LP GL300 напругою 12 В, ємність якого становить 300 Ah.

Для створення 24 В акумуляторні батареї монтуються послідовно по 2 батареї в контурі.

Також акумуляторні батареї типу LP GL300 використовуються для стартерного пуску дизель-генераторів.

3.3 Вибір раціональної структури СЕЕС та розробка однолінійної схеми ГРЩ та АРЩ

Вибираємо СЕЕС трифазного змінного струму. Досвід проектування показує, що для великих транспортних суден, де потужність електростанції 200-4000 kW,

потрібно застосовувати напругу мережі 440 В, 60 Гц. Для електростанцій потужністю від 4000 до 10000 kW необхідна напруга не менше 1000 В, а при потужності більше 10000 kW – напруга 6600 В. Для живлення сучасного навігаційного і аварійного устаткування необхідна змінна напруга 220 В і постійна 24 В.

До установки на даному судні приймаємо автономну СЕЕС, що має одну основну і одну аварійну електростанції. Як джерела електроенергії приймаємо до установки дизель-генераторні агрегати. Основні і резервні джерела електроенергії розміщуємо в машинному відділенні, ГРЩ на окремій палубі, аварійний генератор і АРЩ на шлюпковій палубі. Кількість і потужність генераторних агрегатів ми визначили в попередньому підрозділі. Напругу судової силової мережі приймаємо 6600 В, частота 60 Гц. Це пов'язано з великою потужністю СЕЕС а також з великою протяжністю кабельних трас, які з'єднують ГРЩ з трансформаторами реф. контейнерів, які споживають велику частину виробленої електроенергії. Використання трансформаторів 6600/440 В для живлення реф. контейнерів дозволяє зробити гальванічну розв'язку розеток контейнерів та основної мережі.

Для живлення споживачів машинного відділення відносно невеликої потужності використовується напруга 440 В 60 Гц, яку отримують через понижувальний трансформатор 6600/440 В.

Згідно правилам Регістру розробляємо схему ГРЩ та АРЩ. ГРЩ складається з секції управління, генераторної, фідерної і стартової секцій.

Будуємо станцію з вище приведеними вимогами. В центрі знаходяться секції керування (панель синхронізації), де виконується розподіл електроенергії між генераторами, синхронізація, зупинка та інші операції. Далі в сторони від центру йдуть перша, друга, третя та четверта генераторні панелі. Там розташовані прилади управління і захисту генераторів.

За ними слідує 440 В фідерна і стартова панелі, від яких отримують живлення прилади МКВ, палубні механізми, майстерні, частина камбузного обладнання, а також трансформатори, живлячі 220 В фідерну панель. Від цієї панелі отримують живлення навігація, сигналізація і освітлення.

Від фідерних панелей АРЩ живляться основні споживачі, котрі забезпечують живучість судна під час аварії. Далі наведений список розподілу приймачів електроенергії по секціям ГРЩ та АРЩ.

Передача електроенергії від ГРЩ до споживачів відбувається за допомогою електричних кіл. На даному судні використовується фідерно-групова система розподілу електроенергії. Найбільш відповідні і потужні споживачі отримують живлення від ГРЩ, а не відповідальні від групових розподільних пристроїв, котрі живляться від ГРЩ.

Від шин ГРЩ напругою 6600 В буде отримувати:

- головний агрегат підрулюючого пристрою;
- 2 трансформатори (Tr) 6600/440 В для секцій 440 В;
- 8 трансформаторів (Tr) 6600/440 В для секцій рефрижераторних контейнерів.

З секції 440 В ГРЩ (MSB) отримують живлення:

- насос змащувального масла ГД;
- насоси заборотної води охолодження ГД;
- насоси прісної води охолодження ГД;
- насос охолодження зарубашкового простору ГД;
- насос прокачки циркуляційного масла ГД;
- компресори пускового повітря;
- пожежні насоси;
- баластно-осушувальні насоси;
- рульова машина;
- брашпили якірні носові;
- швартовні лебідки;
- розподільний щит (РЩ) №1 вентилятори МВ;
- розподільний щит (РЩ) №2 механізмів МВ;
- розподільний щит (РЩ) №3 механізмів МВ;
- розподільний щит (РЩ) №4 механізмів МВ;
- розподільний щит (РЩ) № 5 паливних насосів;

- розподільний щит (РЩ) № 6 провізійних камер;
- розподільний щит (РЩ) № 7 допоміжного котла;
- розподільний щит (РЩ) № 8 утиль-котла;
- розподільний щит (РЩ) № 9 санітарних механізмів;
- розподільний щит (РЩ) № 10 гідравліки люкового закриття;
- розподільний щит (РЩ) № 11 майстерні;
- розподільний щит (РЩ) № 12 вентиляції трюмів;
- розподільний щит (РЩ) № 13 загальної вентиляції;
- розподільний щит (РЩ) № 14 кондиціонера;
- розподільний щит (РЩ) № 15 палубних механізмів;
- розподільний щит (РЩ) № 16 камбуза.

З секції 220 В ГРЩ (MSB) через понижуючий трансформатор 440/220 отримують живлення:

- розподільний щит (РЩ) № 17 зовнішнього освітлення;
- розподільний щит (РЩ) № 18 загального освітлення;
- розподільний щит (РЩ) № 19 освітлення МВ;
- розподільний щит (РЩ) № 20 освітлення МВ;
- розподільний щит (РЩ) № 21 прожекторного освітлення;
- підігрівачі генератора;
- радіозв'язок, сигналізація.

Розподіл електроенергії від АРЩ (ESB) напругою 440 В та 220 В згідно з Правилами Регістру:

З секції 220 В отримують живлення:

- 1) аварійне освітлення;
- 2) навігаційні та сигнальні вогні;
- 3) навігаційне обладнання;
- 4) радіообладнання;
- 5) телефонний зв'язок;
- 6) сигналізація;
- 7) схеми автоматики систем.

Генераторні панелі (ГП) призначені для керування і контролю роботою генераторів. На цих панелях встановлені автоматичні повітряні трьохполюсні автомати для комутації головного струму. Автомати забезпечені максимальними розчеплювачами струму для захисту від перевантаження, котушкою відключення для дистанційного керування автоматом, реле зворотної потужності. На панелях установлені кнопки регулювання приводом серводвигуна для керування частотою і навантаженням генераторів, амперметри з перемикачами на 3 положення для контролю фазних струмів, вольтметри, частотоміри з додатковими пристроями, ватметри для контролю навантаження генераторів, амперметри і вольтметри постійного струму для контролю параметрів збудження, плата з запобіжниками для захисту контрольно-вимірювальної апаратури та апаратури керування. На цих панелях також установлені рукоятки автомата "гасіння поля".

Панель синхронізації призначена для керування і вмикання на паралельну роботу генераторів або відключення якогось із них. На цій панелі встановлений секційний трьохполюсний автоматичний вимикач із захистами, аналогічними генераторним. Також установлені: синхроскоп, кнопки керування і лампи синхронізації генераторів, вимірювальний трансформатор напруги для роботи контрольної апаратури, по два вольтметра, частотоміра і ватметра з перемикачами на 3 положення для контролю параметрів працюючих генераторів. На панелі також встановлений мегомметр для контролю ізоляції в колі 6600 В.

Панель НПП призначена для живлення підрулюючого пристрою. Встановлено амперметр з перемикачами на три положення і сигнальні лампи про положення автомату.

Нижче приведений список споживачів, підключених до розподільних щитів:

Розподільчий щит РЩ-1, 440В:

- 1.1 Вентилятор №1,3,5 МВ;
- 1.2 Вентилятори сепараторів №1,2;
- 1.3 Вентилятори ГРЩ.

Розподільчий щит РЩ-2, 440В:

- 2.1. Компресор пускового повітря №1,2;

2.2. Охолоджуючий насос забортої води ГД №1;

2.3. Паливо підкачуючий насос №1.

Розподільчий щит РЩ-3, 440В:

3.1. Охолоджуючий насос прісної води ГД високої температури;

3.2. Охолоджуючий насос прісної води ГД низької температури;

3.3. Насос циркуляційної змазки ГД;

3.4. Насос змащування крейцкопфу ГД.

Розподільчий щит РЩ-4, 440В:

4.1. Насос змазки дейдвудного пристрою;

4.2. Живлячий насос важкого палива №1;

4.3. Допоміжний повітрянагнітач;

4.4. Баластний насос №1.

Розподільчий щит РЩ-5, 440В:

5.1. Перекачуючий насос мастила №1;

5.2. Насос перекачки важкого палива №1;

5.3. Насос системи вирівнювання крену;

5.4. Компресор суднових потреб №2;

5.5. Живлячий насос важкого палива №2.

Розподільчий щит РЩ-6, 440В:

6.1. Вентиляція МВ №1,2;

6.2. Осушувальний насос;

6.3. Насос перекачки легкого палива №1;

6.4. Провізійне реф. устаткування.

Розподільчий щит РЩ-7, 440В:

7.1. Вентилятор котла;

7.2. Насос легкого палива котла №1;

7.3. Насос важкого палива котла №1.

Розподільчий щит РЩ-8, 440В:

8.1. Охолоджуючий насос забортої води ГД №2;

8.2. Паливопідкачуючий насос №2;

- 8.3. Охолоджуючий насос прісної воді ГД високої температури №2;
- 8.4. Насос циркуляції котла;
- 8.5. Насос підкачки палива котла №1.

Розподільчий щит РЩ-9, 440В:

- 9.1. Охолоджуючий насос прісної воді ГД низької температури №2;
- 9.2. Насос циркуляційної змазки ГД №2;
- 9.3. Насос змащування крейцкопфу ГД №2;
- 9.4. Насос змазки дейдвудного пристрою №2;
- 9.5. Вакуумна установка №1;
- 9.6. Насос гідрофора №1;
- 9.7. Насос гідрофора №2.

Розподільчий щит РЩ-10, 440В:

- 10.1. Допоміжний повітря нагнітач №2;
- 10.2. Насос циркуляції котла №2;
- 10.3. Насос підкачки палива котла №2;
- 10.4. Насос гідравліки люкового закриття.

Розподільчий щит РЩ-11, 440В:

- 11.1. Маслоперекачуючий насос №2;
- 11.2. Насос перекачки важкого палива;
- 11.3. Насос системи вирівнювання крену №2;
- 11.4. Устаткування майстерні.

Розподільчий щит РЩ-12, 440В:

- 12.1. Вентилятор трюму №1,2;
- 12.2. Вентилятор трюму №3,4;
- 12.3. Вентилятор трюму № 4, 5.

Розподільчий щит РЩ-13, 440В:

- 13.1. Вакуумна установка №4;
- 13.2. Трюмний пожежний насос;
- 13.3. Вентиляція МВ №3;
- 13.4. Насос важкого палива котла №2.

Розподільчий щит РЩ-14, 440В:

14.1. Головний кондиціонер надбудови;

14.2. Кондиціонер ЦПК.

Розподільчий щит РЩ-15, 440В:

15.1. Провізійний кран;

15.2. Трапова лебідка №1;

15.3. Трапова лебідка №2;

15.4. Привод лебідки рятувальної шлюпки (катер);

15.5. Привод лебідки рятувальної шлюпки.

Розподільчий щит РЩ-16, 440В:

16.1. Електрообладнання камбузу;

16.2. Пральні машини.

Розподільчий щит РЩ-17, 220В:

17.1. Освітлення надбудови;

17.2. Освітлення палуб;

17.3. Освітлення лашингу.

Розподільчий щит РЩ-18, 220В:

18.1. Освітлення трюмів 3,4;

18.2. Освітлення трюмів 6,8;

18.3. Освітлення проходів.

Розподільчий щит РЩ-19, 220В:

19.1. Освітлення 2-ї нижньої палуби;

19.2. Освітлення кладовок.

Розподільчий щит РЩ-20, 220В:

20.1 Освітлення МВ;

20.2. Машинні розетки.

Розподільчий щит РЩ-21, 220В:

21.1. Зовнішнє прожекторне освітлення;

21.2. Палубні розетки.

Особливо відповідальні споживачі отримують живлення від АРЩ, при цьому зв'язок АРЩ з ГРЩ забезпечується автоматичними апаратами, які відключають АРЩ від ГРЩ при знеструмленні ГРЩ і підключаючими в даному режимі АРЩ до фідера ГРЩ. Схемою передбачене також живлення споживачів від берегових джерел електроенергії через щит живлення з берега (ЩЖБ).

Від АРЩ отримують живлення:

- 1) Аварійна рульова машина;
- 2) Аварійний пожежний насос;
- 3) Аварійний компресор пускового повітря;
- 4)осушувальний насос;
- 5) Аварійне освітлення;
- 6) Навігаційні та сигнальні вогні;
- 7) Штурманське обладнання;
- 8) Радіозв'язок, сигналізація;
- 9) Система зв'язку «INNMARSAT-C».

Розробка мереж розподілення електроенергії СЕЕС проводиться після вибору генераторів і розміщенню всіх приймачів електричної енергії, які мають підключитися до електростанції. При цьому перш за все визначаються приймачі електроенергії, які будуть отримувати живлення безпосередньо від ГРЩ.

3.4. Розрахунок струмів короткого замикання, вибір генераторних автоматів

Для захисту СЕЕС і її елементів від коротких замикань і перевантажень використовуються автоматичні вимикачі (автомати) і запобіжники.

На підставі номінального струму та напруги генераторів вибираємо високовольтні автоматичні вимикачі фірми Siemens типу SION 3AE1082.

Автомат має наступні характеристики:

- номінальний струм автомата - 630 А;
- номінальна напруга –7,2 кВ;
- ударний струм -104 кА;
- діюче значення – 40 кА;

- межі уставок на струм спрацювання $-(2:8) I_n$ розчіплювача;
- уставка на час спрацювання – 0,63 с;
- термічна стійкість - $3000 \cdot 10^6 \times A^2 c$.

Для аварійного генератора як генераторний автомат вибираємо автоматичний вимикач Siemens типу SION 3AE1084 з номінальним струмом автомата 1250 А, номінальним струмом комбінованого роз'єднувача 1600 А і гранично допустимим ударним струмом КЗ 50 кА.

Розподіл електричної енергії на судні здійснюється за допомогою силової мережі, підключеної до ГРЩ (MSB), аварійної мережі, підключеної до АРЩ (ESB), і мереж приймачів електроенергії, підключених до розподільного щита.



Рисунок 3.8 – Генераторний автомат SION 3AE1082-1

Струмо-часова характеристика автомата, побудована на підставі віртуальної моделі, приведена на рисунку 3.9.

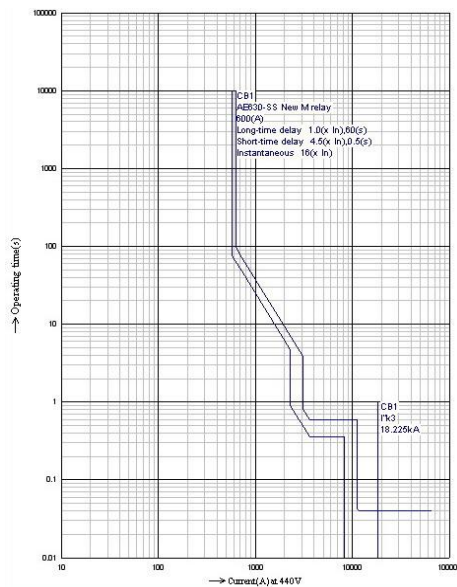


Рисунок 3.9 – Струмова часова діаграма

На судні застосована фідерно-групова система розподілу електроенергії. В цьому випадку безпосередньо від ГРЩ (MSB) або АРЩ (ESB) прокладені самостійні лінії живлення (фідери) до всіх відповідальних споживачів і груповим РЩ. Групові РЩ здійснюють розподіл електроенергії серед групи однакових або близьких за призначенням споживачів.

Основні траси кабелів прокладаються по бортах судна з переходом по перегородках до щитів і приймачів електроенергії. На судні застосовуємо приховану проводку кабелів в спеціальних каналах, які забезпечують огляд кабельних трас.

Передача електроенергії споживачам здійснюється по трьохпроводній системі з ізолюваною нейтраллю, оскільки вона має велику електробезпеку. З'єднання фази на корпус судна не є коротким замиканням.

Для передачі енергії споживачам вибираємо трижильні кабелі японського виробництва стандарту JIS C3410, марки FA-ТРҮСҮ.

Суднові електричні кабелі типу FA-ТРҮСҮ - це негорючий кабель з лудженими мідними скрученими багатодротними жилами з ізоляцією EPR (етилєн-пропилен), внутрішньою оболонкою з PVC (полівінілхлорид), оплетений оцинкованим сталевим дротом і зовнішньою захисною оболонкою з PVC.

Технічні дані:

- число жил: від 7 х 1,7 мм² до 37 х 2,52 мм²;
- номінальний перетин жили: від 16 до 150 мм² ;
- номінальна напруга: 6/10 кВ;
- максимальна температура: 90°C.

Кабель FA-ТРҮСУ застосовується для передачі електроенергії в суднових силових ланцюгах напругою 6/10 кВ при закріпленій прокладці.

Зробимо вибір кабелів, що відходять від ГРЩ. Переріз кабелів вибираємо по струмовому навантаженню, виходячи з роботи в найбільш важкому режимі.

Для вибору кабелю, що з'єднує генератор трифазного змінного струму з ГРЩ, розрахунковий струм визначаємо по формулі:

$$I_{\text{гн}} = \frac{P_{\text{гн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{гн}} \cdot \cos \phi} = \frac{2100000}{\sqrt{3} \cdot 6600 \cdot 0.8} = 229 \text{ A} \quad (3.15)$$

Для кабелів, що з'єднують окремі споживачі з РЩ:

$$I_{\text{гн}} = \frac{P_{\text{гн}} \cdot k_3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{гн}} \cdot \eta_n \cos \phi}; \quad (3.16)$$

де k_3 - коефіцієнт завантаження споживача.

Розрахунковий струм кабелю розподільного щита, який живить групу споживачів, знаходимо по формулі:

$$I_{\Sigma} = k_0 \sqrt{\Sigma I_a^2 + \Sigma I_r^2} \quad (3.17)$$

$\Sigma I_a = I_{a1} + I_{a2} + \dots + I_{an}$ - сумарний активний струм;

$\Sigma I_r = I_{r1} + I_{r2} + \dots + I_{rm}$ - сумарний реактивний струм.

Після визначення перерізу кабелю зробимо перевірку його на втрату напруги, при цьому керуємося вимогами Регістру, згідно з якими втрата напруги ΔU не

повинна перевищувати для силових кабелів - 7 %; для мереж освітлення - 5%; низьковольтних мереж (36 В) -10 %.

Для трифазної лінії при визначенні втрати ΔU напруги користуємося формулою:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}IL(r \cos \phi + x \sin \phi)}{U} \cdot 100 \% ; \quad (3.18)$$

де L - довжина кабелю;

r , x - активний та індуктивний опір, Ом/км.

Робочий струм кабелю генератора приймаємо рівним номінальному струму генераторного автомата HVF1061 рівним 630 А.

Вибираємо чотири трижильних кабелі марки FA-ТРҮСҮ-150(255 А на кабель) з загальним перетином жил 600 мм².

Кабелі з'єднуємо паралельно. Робимо перевірку на втрату напруги:

$L = 410\text{м} = 0,41 \text{ км}; I = I_{\text{га}} = 630 \text{ А}; \cos \phi = 0.8; \sin \phi = 0.6; r = 0,126 \text{ Ом/км}; x = 0,0922 \text{ Ом/км};$

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{\sqrt{3}IL(r \cos \phi + x \sin \phi)}{U} \cdot 100 = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 229 \cdot 0.41 \cdot (0.126 \cdot 0.8 + 0.0922 \cdot 0.6)}{6600} \cdot 100 = 0.385 \% \end{aligned}$$

Втрата напруги генератора лежить в межах допустимих норм, тобто менше 7%.

Розрахунок інших кабелів проводимо аналогічно.

Після вибору кабелів зробимо вибір автоматичних вимикачів споживачів, які одержують живлення від ГРЩ. При цьому необхідно дотримуватися наступних двох умов:

$$U_n \geq U_{\text{раб}}, I_n \geq I_{\text{раб}} \quad (3.19)$$

де U_n , $U_{раб}$, I_n , $I_{раб}$ - номінальні та робочі для даної схеми включення значення напруги та струму.

Автоматичні вимикачі вибираємо по струмах, які розраховуємо по формулі:

$$I_{ab} \geq k_0 \sum I_i + k I_n \quad (3.20)$$

Причому коефіцієнт завантаження споживачів – K_3 – приймаємо рівним одиниці: $K_3 = 1$.

Далі на підставі вибору живлячих кабелів і розрахунків струмів короткого замикання виконаємо перевірку вибраних автоматів на відповідність режимам роботи.

Розрахунок виконується по методиці визначення періодичної складової струму короткого замикання в залежності від усього опору кола короткого замикання по кривим затухання періодичної складової струму короткого замикання. Криві затухання періодичної складової струму короткого замикання побудовані по середнім параметрам генераторів з самозбудженням, приведені на рис. 3.5.

Початкові дані для розрахунку:

4 генератори G1, G2, G3, G4:

$S_{H1}=2625 \text{ kVA}$; $U_H=6600 \text{ V}$; $I_H=229 \text{ A}$; $x_d''=0,117 \text{ Ohm}$; $r_T=0.0878 \text{ Ohm}$;

$S_{H2}=2625 \text{ kVA}$; $U_H=6600 \text{ V}$; $I_H=229 \text{ A}$; $x_d''=0,117 \text{ Ohm}$; $r_T=0.0878 \text{ Ohm}$;

$S_{H3}=2625 \text{ kVA}$; $U_H=6600 \text{ V}$; $I_H=229 \text{ A}$; $x_d''=0,117 \text{ Ohm}$; $r_T=0.0878 \text{ Ohm}$;

$S_{H4}=2625 \text{ kVA}$; $U_H=6600 \text{ V}$; $I_H=229 \text{ A}$; $x_d''=0,117 \text{ Ohm}$; $r_T=0.0878 \text{ Ohm}$.

Складаємо розрахункову схему (рис.3.10) для визначення струму КЗ при короткому замиканні в точці К1. Базисну потужність приймаємо рівній сумі потужностей генераторів, базисна напруга - рівним номінальній напрузі генераторів (на шинах ГРЩ), тобто:

$$S_6 = 4 \times 2625 = 10500 \text{ kVA}; U_6 = 6600 \text{ V};$$

$$I_6 = 10500 / (\sqrt{3} \cdot 6600) = 918 \text{ A}.$$

Визначаємо значення опорів обмоток статора генераторів G1-G4, що входять в схему:

Активні:

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_r \cdot \frac{S_6 \cdot 1000}{U_6^2} = 0.0878 \cdot \frac{10500 \cdot 1000}{6600 \cdot 6600} = 0.027, \text{ Ohm};$$

Реактивні:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x_d'' \cdot \frac{S_6}{S_n} = 0.117 \cdot \frac{10500}{2625} = 0.468, \text{ Ohm};$$

Опори кабелю FA-ТРУСҮ-150 (3х150) складають: активне $R=0.126 \text{ Ohm/km}$, індуктивне $X=0.0922 \text{ Ohm/km}$. Опори 4-х паралельно прокладених кабелів завдовжки 10 м (приймається точка короткого замикання на відстані 10 м від ГРЩ) рівні:

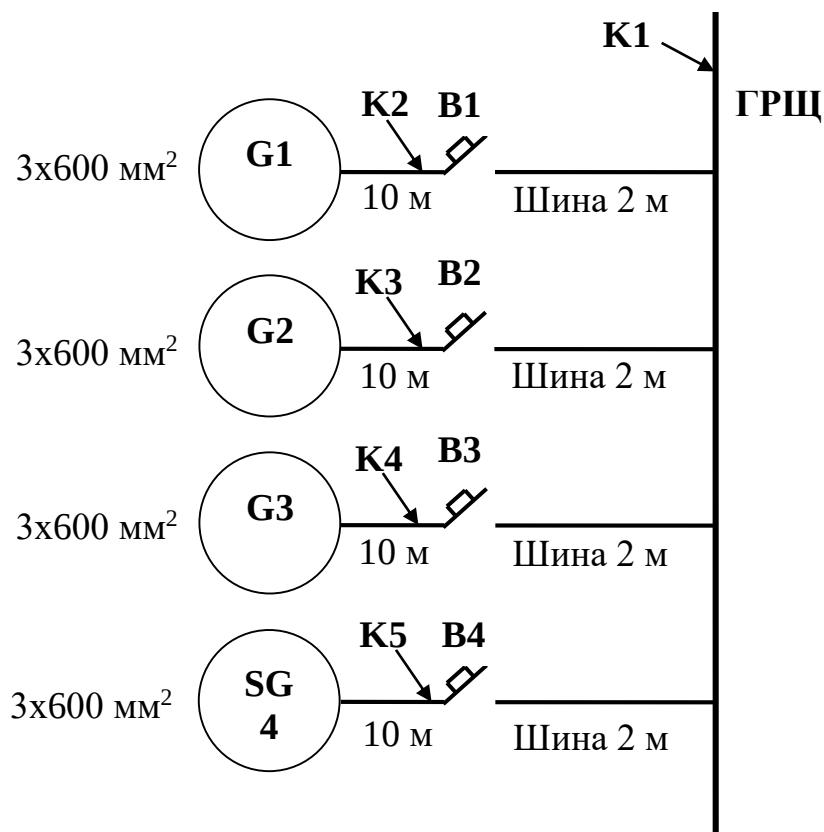


Рисунок 3.10 – Розрахунок струмів короткого замикання генераторів

$$\text{активний : } r_k = \frac{0.126}{1000} \cdot 10 \cdot \frac{1}{4} = 3.13 \cdot 10^{-4}, \text{ Ohm};$$

$$\text{індуктивний: } x_k = \frac{0.0922}{1000} \cdot 10 \cdot \frac{1}{4} = 2.295 \cdot 10^{-4}, \text{ Ohm};$$

Активний опір вимикачів В1, В2, В3, В4 ряду контактів і шин ГРЩ приймаємо рівним 0.0002 Ohm, індуктивне 0.0001 Ohm.

Тоді загальний опір кабелю і шин буде:

$$r_5 = \left(3.13 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4} \right) \frac{10500 \cdot 1000}{6600 \cdot 6600} = 0.000157 \text{ Ohm};$$

$$x_5 = \left(2.295 \cdot 10^{-4} + 10^{-4} \right) \frac{10500 \cdot 1000}{6600 \cdot 6600} = 0.000106 \text{ Ohm};$$

Загальний опір чотирьох однакових генераторних променів

$$r_6 = r_1 + r_5 = 0.027 + 0.000157 = 0.0272 \text{ Ohm};$$

$$x_6 = x_1 + x_5 = 0.468 + 0.000106 = 0.469 \text{ Ohm};$$

Для визначення еквівалентного опору скористаємося комплексною формою їх запису:

$$Z_6 = r_6 + jx_6 = 0.0272 + j \cdot 0.469 \text{ Ohm};$$

$$Z_7 = r_7 + jx_7 = 0.0272 + j \cdot 0.469 \text{ Ohm};$$

$$Z_8 = r_8 + jx_8 = 0.0272 + j \cdot 0.469 \text{ Ohm};$$

$$Z_9 = r_9 + jx_9 = 0.0272 + j \cdot 0.469 \text{ Ohm};$$

$$Z_{10} = \frac{Z_6 Z_7 Z_8 Z_9}{Z_7 Z_8 Z_9 + Z_6 Z_8 Z_9 + Z_6 Z_7 Z_9 + Z_6 Z_7 Z_8} = 8.45 \cdot 10^{-3} + 0.121j \text{ Ohm};$$

Звільнимися від комплексного числа в знаменнику множенням дробу на зв'язаний комплекс знаменника:

$$r_{10}=0.008453 \text{ Ohm};$$

$$x_{10}=0.121 \text{ Ohm};$$

$$Z_{10}=\sqrt{0.00845^2 + 0.121^2} = 0.121 \text{ Ohm}.$$

Отримані опори r_{10} , x_{10} , Z_{10} є результуючими при короткому замиканні в точці K_1 .

$$I_0 = 8.12; I_{0.01} = 7.23; I_{0.25} = 4.22; I_{\infty} = 4.15$$

Відношенню $x_{10}/r_{10} = 121/0.008453 = 14.314$ відповідає ударний коефіцієнт $K_{уд} = 1.8$ (рис. 3.12):

$$i_{y\partial.г} = \sqrt{2} \cdot I_{\sigma} \cdot [I_{0.01} + I_0 \cdot (K_{y\partial} - 1)] \quad (3.21)$$

$$i_{y\partial.г} = \sqrt{2} \cdot 1400 \cdot (7.23 + 8.12 \cdot (1.8 - 1)) = 34232 \text{ A}.$$

При короткому замиканні в точці K_1 , $\Delta U = 0$. Тоді додатковий струм, створюваний електродвигунами в точці КЗ буде: $I_d = (E_d - \Delta U)/Z_d$, де Z_d – опір еквівалентного двигуна. Приймаємо значення потужності еквівалентного двигуна 75% від номінальної потужності генераторів, тоді:

$$Z_{\partial.г} = \frac{1}{5} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_n} = 0.2 \cdot \frac{S_{\sigma}}{0.75 \cdot S_{\sigma}} = 0.266 \quad (3.22)$$

$$I_d = (0.9 - 0)/0.266 = 3.38;$$

Струм підживлення двигунів:

$$i_{y\partial.г} = \sqrt{2} \cdot I_{\sigma} \cdot I_d = \sqrt{2} \cdot 1400 \cdot 3.38 = 8455 \text{ A};$$

Ударний струм в точці K_1 буде рівний сумі:

$$i_{уд} = i_{y\partial.г} + i_{уд.г} = 8455 + 34232 = 42687 \text{ A}.$$

По одержаному струму КЗ в точці К₁ повинні бути перевірені на динамічну стійкість збірні шини ГРЩ.

Для перевірки генераторних автоматичних вимикачів В1, В2, В3 і В4 необхідно визначити струми КЗ в точках К2, К3, К4, К4. Орієнтовно ударні струми КЗ в точках рівні:

$$\text{К2: } i_{\text{удГ}} = i_{\text{yd}} \cdot \frac{S_{\Gamma}}{S_{\bar{\sigma}}} + i_{\text{ydd}} = 42687 \frac{2625}{10500} + 8455 = 19126 \text{ , А;}$$

$$\text{К3: } i_{\text{удГ}} = i_{\text{yd}} \cdot \frac{S_{\Gamma}}{S_{\bar{\sigma}}} + i_{\text{ydd}} = 42687 \frac{2625}{10500} + 8455 = 19126 \text{ , А;}$$

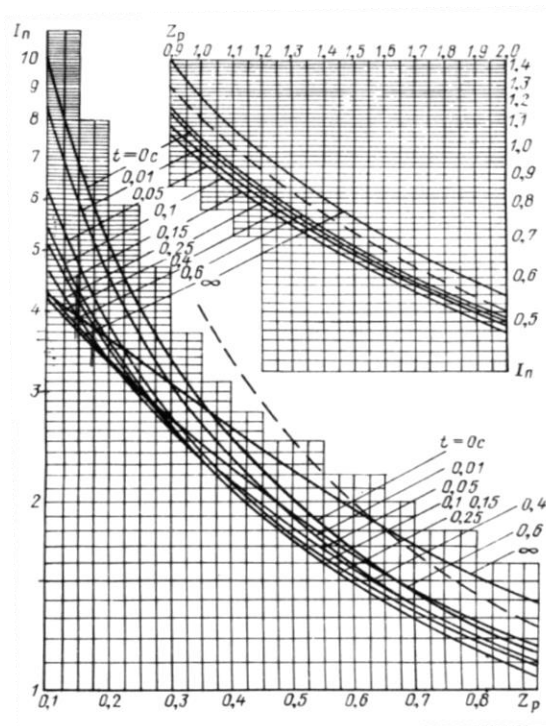


Рисунок 3.11 – Розрахункові криві для визначення періодичної складової струму КЗ СЕЕС залежно від результуючого опору кола КЗ і часу

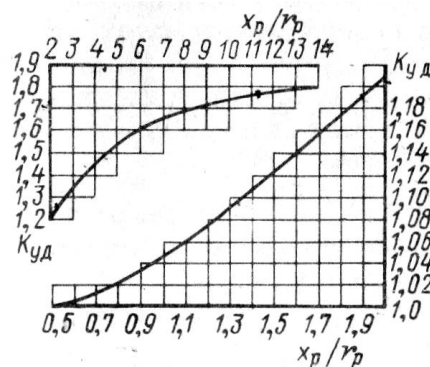


Рисунок 3.12 – Залежність ударного коефіцієнта К_{уд} відношенням x₁₀/r₁₀.

$$\text{K4: } i_{yДГ} = i_{y\partial} \cdot \frac{S_{\Gamma}}{S_{\delta}} + i_{y\partial\partial} = 42687 \frac{2625}{10500} + 8455 = 19126 \text{ , A};$$

$$\text{K5: } i_{yДГ} = i_{y\partial} \cdot \frac{S_{\Gamma}}{S_{\delta}} + i_{y\partial\partial} = 42687 \frac{2625}{10500} + 8455 = 19126 \text{ , A};$$

Ці струми більші струмів динамічної стійкості вимикачів В1, В2, В3, В4.

Робочий струм для вибору перетину шин розподільчих пристроїв визначають по номінальній тривалій потужності, а для ГРЩ - з розрахунку половинної потужності генераторів електростанції:

$$I_{розр} = \frac{\sum P_i}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi} \quad (3.23)$$

$$I_{розр} = \frac{4 \cdot 2100}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6600 \cdot 0.8} \cdot 1000 = 581 \text{ A}$$

Динамічну стійкість шин перевіряють у всіх випадках. Перевірку шин на термічну стійкість проводять тільки для тих щитів, які відключаються при КЗ, з витримкою часу більше 0.5 с. Допустиму напругу для мідних шин при динамічних навантаженнях приймають рівним 14000 N/cm², а максимально допустиму (короткочасну) температуру - 300° С.

Вибираємо з запасом дві мідні шини перетином 100×8 (загальний перетин 100×16) mm з робочим струмом 2240 А кожна, прокладені в паралель. Встановлюємо шини на відстані 100 mm.

$$h=100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}, \quad b=16 \text{ mm} = 1.6 \text{ cm}, \quad a=100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}.$$

Визначаємо значення виразів:

$$\frac{a-b}{h+b} = \frac{100-16}{100+16} = 0.724, \quad \frac{b}{h} = \frac{16}{100} = 0.16$$

На підставі кривих рисунку 3.6 визначаємо значення коефіцієнта форми $K_{\phi}=0.84$.

Момент опору шин прямокутного перетину визначаємо по формулі:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{1,6^2 \cdot 10}{6} = 4.762 \text{ cm}^3 \quad (3.24)$$

Значення сили, прикладеної до одиниці довжини шини при короткому замиканні (приймаємо $K=1.67$ для випадку трифазного КЗ):

$$f = K \cdot K_\phi \cdot i_{\text{кз}}^2 \cdot \frac{1}{a} \cdot 10^{-7} = 1.67 \cdot 0.84 \cdot 42687^2 \cdot \frac{1}{10} \cdot 10^{-7} = 25.56 \text{ N/cm} \quad (3.25)$$

Найбільше допустиме значення прольоту між опорами шин:

$$l_{\text{max}} = \sqrt{\frac{10 \cdot \sigma_{\text{дон}} \cdot W}{f}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 14000 \cdot 4.762}{25.26}} = 161 \text{ cm} \quad (3.26)$$

Приймаємо 50 см.

При довжині секції ГРЩ 100 см шини повинні бути закріплені у трьох точках в кожній секції.

Згідно кривим рисунок 3.14 початковій (номінальній) температурі нагріву мідних шин, рівної 90°C , відповідає значення $A_H=1.64 \cdot 10^4$.

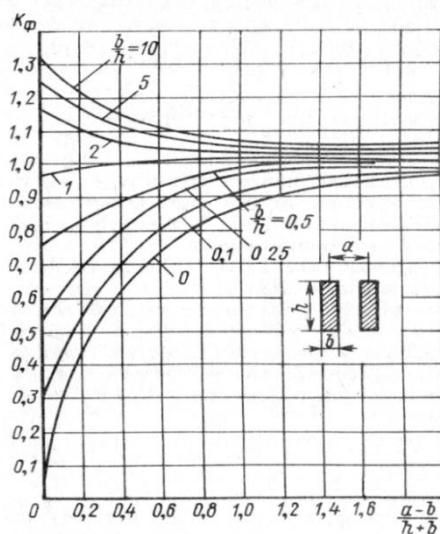


Рисунок 3.13 – Криві для визначення коефіцієнта форми

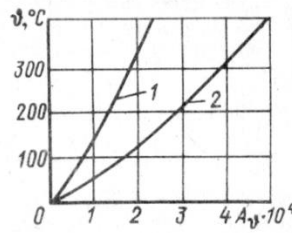


Рисунок 3.14 – Криві для визначення температури нагрівання струмопроводів
1- для алюмінію, 2 – для міді.

Значення параметра A_k , що характеризує кінцеву температуру нагрівання шин буде:

$$A_k = A_n + \frac{I_{K3}^2}{S^2} \cdot t_\phi \quad (3.27)$$

де S – площа поперечного перетину шин, мм^2 , t_ϕ – фіктивний час КЗ приймаємо $t_\phi = 2 \cdot 1.0 = 2 \text{ s}$.

$$A_k = 1.64 \cdot 10^4 + \frac{42687^2}{(100 \cdot 16)^2} \cdot 2 = 1.782 \cdot 10^4$$

Згідно кривим на рисунку 3.7 значенню $A_n = 1.782 \cdot 10^4$ відповідає температура приблизно рівна 100°C , що менше 300°C . У зв'язку з цим вважаємо, що шини задовольняють термічній стійкості з великим запасом, оскільки здатні витримати ударний струм КЗ з витримкою більше 2-х секунд.

3.5 Вибір системи збудження синхронних генераторів

Для високовольтних безщіткових генераторів HiMSEN 9H25/33 з номінальною напругою 6600 В виберемо систему збудження Basler Electric. Пристрій збудження і тиристорний регулятор напруги складають систему збудження DECS-300.

DECS-300 є системою управління збудженням, використовуваної для управління вихідною напругою, реактивною потужністю або коефіцієнтом потужності синхронного генератора шляхом зміни або управління величиною збудження постійним струмом, що додається до основного поля або полю

збудження генератора. DECS300 придатна для машин практично будь-якої потужності.

Вхідна потужність або від мережі змінного струму або постійного струму станції забезпечує робочу напругу для DECS-300. DECS-300 вимірює напругу генератора і струму через напруги і трансформаторів струму. Поле напруги і струм вимірюється за допомогою модуля ізоляції і перетворюються в аналогові сигнали напруги для DECS-300.

DECS-300 є контролером збудження з мікропроцесорним управлінням. Вона виробляє керуючі сигнали для контролю збудження (виходу) зовнішнього силового моста. DECS-300 призначена для роботи з силовими мостами SSE і SSEN від компанії Basler Electric, але вона буде також добре працювати з будь-яким силовим мостом, придатним для використання на синхронному генераторі / моторі, який має ланцюг збудження, здатну сприймати сигнали від DECS-300. DECS-300 є системою всебічного управління збудженням, реалізованої в одному корпусі, монтується в 19-дюймовому стояку. Вона надає всі функціональні можливості, необхідні для обмеження, управління і захисту генератора при роботі машини за межами її можливостей.

DECS-300 може контролювати силові мости, які мають поточні можливості різних вихідних в діапазоні від 20 до 5000 ампер постійного струму при номінальному рівні напруги від 32 до 375 В постійного струму. Ці силові мости можуть бути частково під контролем і повністю контролюється. Повний керувані мости забезпечують більш швидке розбудження поля генератора або збудливим, щоб отримати швидше, навантаження с, короткочасне відновлення.

Модуль ізоляції (перетворювач) вимірює напругу збудження і струм і розвиває аналогові напруги для DECS-300. Він також ізолює DECS-300 з поля. Ці аналогові сигнали напруги прикладаються до DECS-300 через кабель, підключений між двома з'єднувачами (P1 на DECS-300 і J1 на модуль ізоляції). Робоча напруга для чутливих ланцюгів в модулі ізоляції походить від DECS-300 через той же кабель.

Сучасна конструкція DECS-300 дозволяє пасивного режиму управління всередині блоку простежувати активний режим, забезпечуючи м'яку передачу управління між режимами. Програмне забезпечення здійснює також зв'язок між блоками, забезпечуючи автоматичне супровід і передачу управління між блоками DECS-300. Система може також зв'язуватися з ПК через порт RS-232 передній панелі для місцевого програмування і вимірювання, а також взаємодіяти через протокол Modbus™ заднього порту RS-485 для зв'язку на відстань до 4000 футів від блоку DECS-300. Ця система має всі властивості, функціональні можливості, гнучкість і можливість програмування, які характерні для сучасних пристроїв з мікропрограмним управлінням.

Кожен DECS-300 має вбудований над / недозбудження обмежувачі. Обмежувачі перезбудження присутні як для он-лайн так і офф-лайн рівнів збудження. Ця функція забезпечує максимальний захист перезбудження при наявності різної настройки для роботи в автономному режимі. Під час роботи в автономному режимі, більш низькі налаштування обмежувача повинні належним чином забезпечити захист генератора.

Безщітковий синхронний генератор (БСГ) складається з генератора та збудника. Роторна обмотка збудження генератора живиться від роторної трифазної обмотки збудника через трифазний випрямний міст, який обертається. Стаціонарна статорна обмотка збудження збудника у свою чергу живиться від статичної системи збудження типу DECS-300.

Принципова схема БСГ з системою збудження Basler Electric типу DECS-300 (рис. 3.15) .

Основна відмінність від класичної схеми для низьковольтних генераторів полягає у тому, що на статорі генератора розміщується додаткова низьковольтна обмотка для живлення контурів збудження. Вся система збудження повністю ізольована від силового контуру за допомогою трансформаторів струму та напруги.

Коли БСГ працює, результуюче магнітне поле індукуює напругу в обмотці статора генератора. Енергія, яка генерується в цій обмотці, передається до обмотки збудження збудника завдяки тиристорі, проходячи через систему збудження.

Схема, яка створює збудження, утворює замкнутий контур управління шунтуючим пристроєм та імпульсно-фазове управління тиристором.

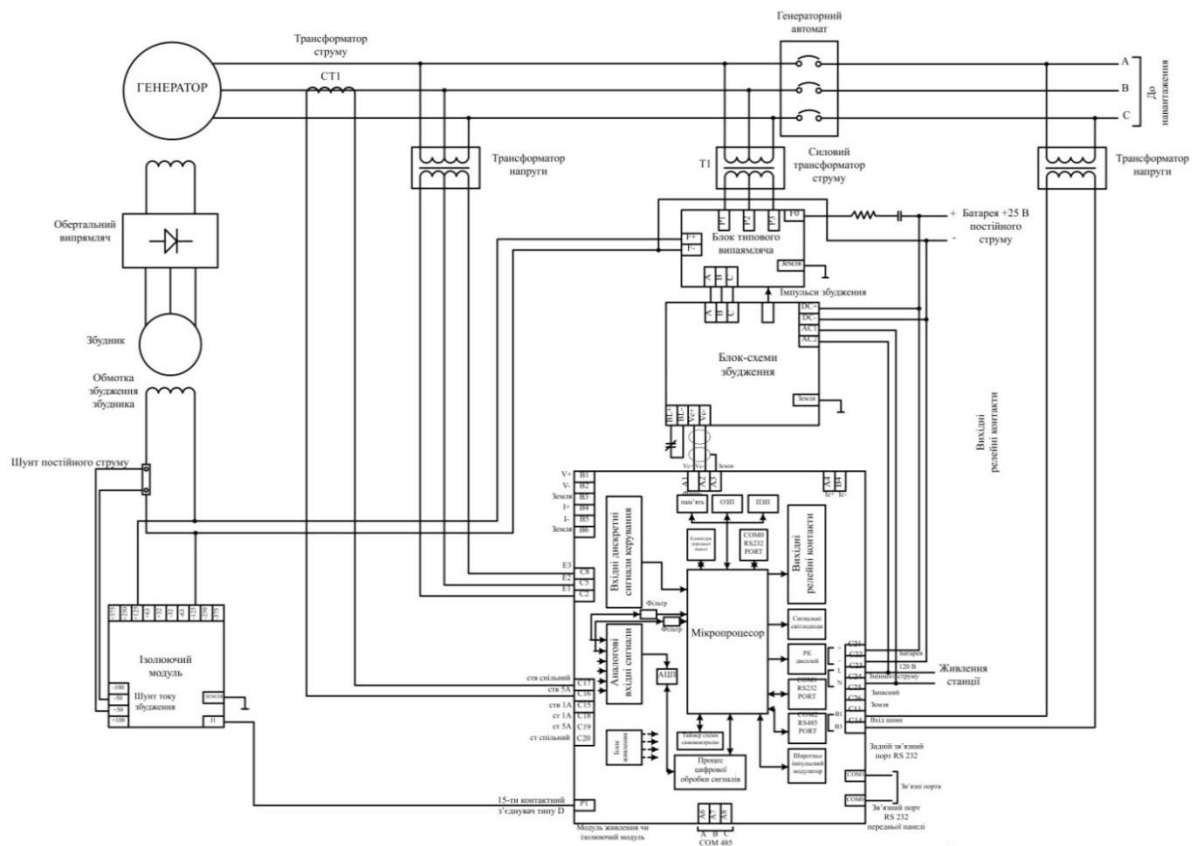


Рисунок 3.15 – Принципова схема з'єднань системи збудження Basler Electric типу DECS-300

Властивості

- Мікропроцесорне управління
- Зчитування істинного середньоквадратичного діючого значення (RMS), одно- та трифазного
- Керуючі виходи: аналогові виходи 4-20 мА, 0-20 В пост. струму або ± 10 В пост. Струму
- Точність регулювання напруги: 0,25%
- Налаштування з передньої панелі НМІ (інтерфейсу «людина-машина») або з персонального комп'ютера (ПК) за допомогою безкоштовного настроювального програмного забезпечення під операційною системою Windows
- Вибір 40 варіантів стандартної стабільності

- Вибір стабільності, що настраюється користувачем, з двома групами налаштувань ПД-регулювання

- Компенсація паралельності
- Компенсація падіння в лини
- Компенсація зниженої частоти або обмежувач відносини В / Гц
- Наростання плавного пуску
- Режим регулювання струму збудження (Ручний режим)
- Автоматичний супровід між робочими режимами і між блоками DECS

300

- Автоматична передача управління резервному блоку DECS-300
- Дистанційне керування заданими значеннями через:
 - контактні входи - пропорційне керування через ± 10 В пост. струму або 4-

20 мА

- зв'язкові входи RS-232 (ASCII) або RS-485 (ModbusTM)
- Обмежувач мінімального збудження (внутрішньо генерований або

настроюється

- Обмежувачі максимального збудження при роботі в оперативному і автономному режимах

- Обмежувач струму статора
- Контролери реактивної потужності і коефіцієнта потужності
- Запис послідовності подій
- Узгодження напруги

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Регулювання напруги

Регулювання напруги дорівнює $\pm 0,25\%$ понад діапазону навантаження при номінальному коефіцієнті потужності і постійній частоті генератора. Стабільність при стійкому стані дорівнює $\pm 0,1\%$ при постійному навантаженні і частоті генератора.

DECS-300 регулює чинне значення напруги генератора в межах 0,25% при відсутності навантаження і при повному навантаженні. При цьому використовуються алгоритми цифрової обробки сигналу і точного регулювання, розроблені компанією Basler Electric.

Підйом напруги при плавному пуску

Перерегулювання напруги генератора, якщо його не контролювати, може бути небезпечним для системи ізоляції генератора. DECS-300 має властивість плавного запуску з налаштуванням, яка встановлюється користувачем, для управління допустимою швидкістю зростання напруги генератора. Це перешкоджає перевищення напругою генератора номінальних рівнів напруги під час запуску системи генератора.

Вихідні сигнали

DECS-300 посилає неізольований вихідний сигнал 4-20 мА, 0-10 В пост. струму або ± 10 В пост. струму в схеми збудження або управління зовнішніх каскадів посилення потужності. Постійний струм від цих каскадів забезпечує поле збудження для основного генератора або збудника. DECS-300 може керувати практично будь-яким мостом, здатним сприймати такі сигнали, тобто придатний для використання з синхронними генераторами / моторами.

Компенсація паралельності

DECS-300 має засоби для паралельного з'єднання двох і більше генераторів, використовуючи компенсацію реактивного нахилу або реактивного перепаду на додаток до зовнішнього трансформаторів струму з вторинними струмами 1 або 5 А змін. струму. Номінальна потужність токового входу не перевищує 1 ВА. Така мала навантаження означає, що можуть використовуватися існуючі вимірювальні трансформатори струму і не потрібно спеціальних трансформаторів струму.

Стабільність

DECS-300 використовує пропорційне (P), інтегральне (I) і похідне (D) управління стабільністю. DECS-300 має 40 заздалегідь запрограмованих налаштувань стабільності (ПД) - пропорційно-інтегрально-диференціальне регулювання) для основного поля (20 налаштувань) і для поля збудника (20

налаштувань). Це означає, що налаштування стандартної стабільності вже доступні для більшості додатків / машин. DECS-300 має діапазон стабільності, який дозволяє змінювати регулювання стабільності для точної настройки стабільності, яка забезпечить оптимально налаштовану перехідну характеристику генератора. Її конфігураційний програмне забезпечення містить програми вибору ПД, що допомагають правильно визначити настройки ПД-регулювання. DECS-300 передбачає настройку стабільності та перехідної характеристики обмежувача мінімального / максимального збудження і контролерів реактивної потужності / коефіцієнта потужності шляхом додаткових налаштувань стабільності.

Робочий режим регулювання струму збудження

DECS-300 надає ручної канал впливу, званий режимом регулювання струму збудження або FCR. В цьому режимі DECS-300 регулює вихідний постійний струм силового моста. В цьому режимі струм не залежить від чутливого входу в DECS-300 і таким чином виходить хороший канал для резервного управління збудженням при виявленні втрати зчитування. В цьому режимі управління генератором з підтримки номінальної напруги генератора при зміні його навантаження повністю залежить від оператора.

Робочий режим контролера реактивної потужності / коефіцієнта потужності

DECS-300 має, в якості наступного стандартного властивості, два режими роботи, коли генератор підключений паралельно мережі єдиної енергосистеми. DECS-300 може працювати в режимах реактивної потужності (VAR) і коефіцієнта потужності (PF). Якщо генератор підключений паралельно мережі єдиної енергосистеми, DECS-300 може утримувати вихід реактивної потужності генератора на заданому рівні реактивної потужності, або ж ця система може змінювати вихід реактивної потужності генератора, щоб підтримувати заданий коефіцієнт потужності при зміні навантаження генератора.

Обмежувачі максимального збудження

Обмеження перезбудження (OEL) працює у всіх режимах, крім режиму FCR. OEL зчитує вихід струму збудження регулятора напруги або статичного збудника і обмежує струм збудження, перешкоджаючи перегріву збудження. У режимі FCR

DECS-300 тільки сповіщає про те, що виконані всі умови для OEL, але не забезпечено обмеження. DECS-300 режимі можливі два види обмеження перезбудження: точки підсумовування і прийняття на себе.

- OEL точки складання : Для роботи в оперативному режимі задані три рівня струмів OEL. Це верхній, середній і нижній рівні. Генератор може працювати безперервно при нижньому рівні струму OEL і протягом запрограмованого часу при верхній і середній рівнях струму OEL. Два рівня струму OEL задаються для роботи в автономному режимі (головний переривник розімкнутий). Це верхній і нижній рівні. Генератор може працювати безперервно при нижньому рівні струму OEL і протягом запрограмованого часу при верхньому рівні струму OEL.

- OEL прийняття на себе : Рівень струму збудження, при якому відбувається обмеження, визначається характеристикою з зворотною залежністю від часу. Два рівня струмів і тимчасова настройка задаються для обмежувача OEL. Окремі криві можуть бути обрані для оперативного і автономного режимів роботи. Якщо система увійшла в стан перезбудження, то струм збудження обмежується і слід обраної кривої. Вибір рівнів / кривих OEL для оперативного і автономного режимів роботи визначається вибором опції OEL.

Обмежувач мінімального збудження

Обмежувач мінімального збудження запобігає падінню величини збудження, що передається полю генератора, нижче безпечних рівнів роботи. Це захищає машини від можливого прослизання полюсів і від пошкодження машини. Він обмежує кількість реактивної потужності, що поглинається машиною, відповідно до настройками користувача. Крива обмеження недозбудження (ВПВ), створюваного внутрішніми засобами, може використовуватися на підставі рівня реактивної потужності при відсутності навантаження або ж може бути обрана крива UEL з 5 налаштованими точками для забезпечення відповідності характеристикам конкретного генератора.

Обмежувач струму статора

Обмежувач струму статора (SCL) сприймає рівень струму статора і обмежує його, перешкоджаючи перегріву статора. SCL працює у всіх режимах, за винятком

FCR. У режимі FCR DECS-300 тільки сповіщає про наявність умов для перегріву, але не забезпечує обмеження струму. Передбачені два рівня струму SCL: верхній і нижній. Генератор може працювати безперервно при нижньому рівні струму SCL і тільки протягом запрограмованого часу при верхньому рівні струму SCL.

Захисні функції

Є кілька захисних функцій, вбудованих в блок DECS-300. Ці функції можуть використовуватися в якості дублювання реле основного захисту і можуть бути призначені програмованим вихідних контактів через програмне забезпечення ПК. Захисні властивості надають повністю регульовані рівні розмикання і тимчасові затримки. Є такі захисні властивості:

- Підвищена напруга генератора
- Підвищена напруга збудження
- Перегрів поля
- Знижена напруга генератора
- Підвищений струм збудження
- Втрата чутливості
- Втрата збудження
- Сторожовий таймер

3.6 Перевірка кабелю одного з найбільш віддаленого електропривода на втрату напруги

Розрахуємо втрату напруги в кабелі підрулюючого пристрою з робочим струмом двигуна 342 А при номінальній напрузі 6600 V.

Допустиме струмове навантаження кабелю можна визначити по формулі:

$$I_K = I_1 \cdot k_n \cdot k_{\text{реж}} \cdot k_T^0 \cdot k_{\text{Пр}}; \quad (3.40)$$

де I_1 -тривало допустиме струмове навантаження для одножильного кабелю;

k_n - поправочний коефіцієнт, враховуючий кількість жил в кабелю;

$k_{\text{реж}}$ - поправочний коефіцієнт, враховуючий режим роботи живлячого споживача електроенергії;

k_T^0 - поправочний коефіцієнт, враховуючий температуру навколишнього середовища;

$k_{\text{Пр}}$ - поправочний коефіцієнт, враховуючий спосіб прокладки кабелю.

Вибираємо паралельно прокладені два кабелі марки FA-ТРҮСУ-150 (150 mm², 255 А на кабель) з ізоляцією із етиленпропиленусумарним перерізом жил 300 mm² з наступними характеристиками: I₁=480 А, k_п=0.8 для трижильного кабелю, k_{реж}=1.3 для ПВ 40% при I₁=500 А, k_т=1 для температури 45°C, k_{пр}=0.85 для випадку, коли доступ повітря утруднений, у нашому випадку прокладка кабелю проходить у кабельній трасі:

$$I_K = 480 \cdot 0.8 \cdot 1.3 \cdot 1 \cdot 0.85 = 424 \text{ А.}$$

Для визначення падіння напруги у кабелях у суднових колах трифазного змінного струму користуються формулою:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{роз} \cdot l}{\gamma \cdot U_H \cdot s} \cdot 100\%; \quad (3.41)$$

де ΔU - падіння напруги, %; l - довжина лінії, м; $I_{роз}$ - розрахунковий струм споживача, А; питома провідність міді $\gamma = 48 \text{ м}/(\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2)$; U_H - номінальна напруга кола, V; s - переріз струмопровідних жил, mm².

Визначимо падіння напруги для вибраного кабелю: $s = 300 \text{ mm}^2$, $U_H = 6600 \text{ V}$, $I_{роз} = 424 \text{ А}$, $l = 375 \text{ м}$.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 424 \cdot 375}{48 \cdot 6600 \cdot 300} \cdot 100 = 0.29 \text{ \%}.$$

Кабель вибраний вірно, тому що падіння напруги на лінії складає 0.29 %, а це набагато менше, ніж встановлені Регістром максимальні 5%.

3.7. Розрахунок провалу напруги СЕЕС під час пуску найбільш потужнішого споживача електроенергії

Особливістю суднових електростанцій являється наявність потужних асинхронних короткозамкнених двигунів, під час пуску яких виникають великі струми. При скачках струмів синхронні генератори розмагнічуються і, на деякий час, знижують напругу, що прийнято називати провалом напруги.

Розрахунки провалів напруги синхронних генераторів необхідно виконувати для випадків підключення найбільш потужних асинхронних двигунів.

Але необхідно врахувати, що найбільш потужні двигуни – в приводах підрулюючих пристроїв – запускаються перетворювачами частоти. Відомо, що таке навантаження еквівалентне активному опору, так як $\cos \varphi = 0.98 \dots 0.995$. Крім того, за рахунок поступової зміни частоти пусковий струм перевищує номінальний не більш, ніж максимально прийнятий в налаштуваннях перетворювача частоти.

На рис. 3.16 наведено типовий графік перехідних процесів в системі «Перетворювач частоти – асинхронний двигун» при вентиляторному навантаженні у відносних одиницях.

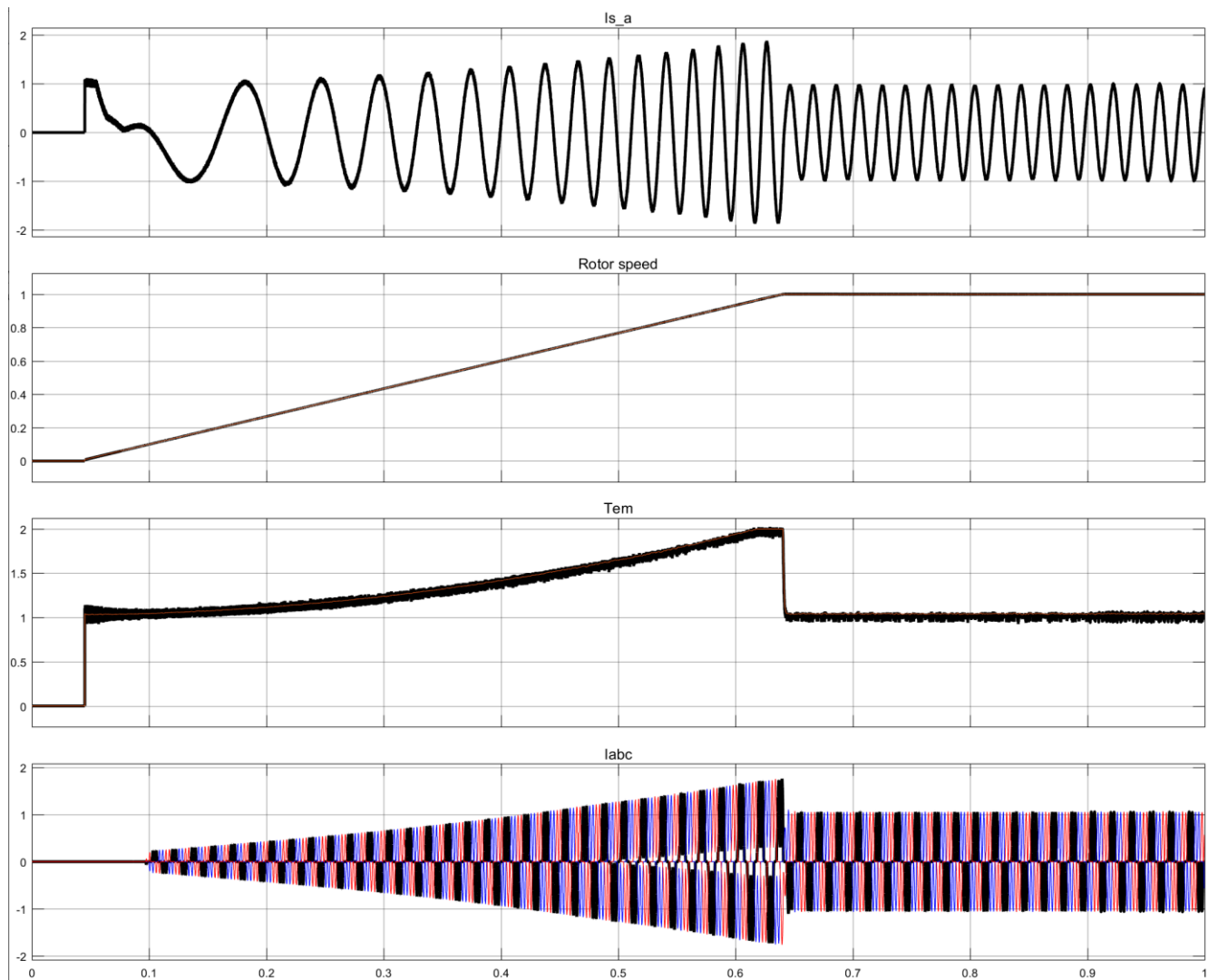


Рисунок 3.16 – Графіки перехідних процесів в системі «ПЧ–АД» при вентиляторному навантаженні у відносних одиницях

Початкові дані електроприводу підрулюючого пристрою:

- Сумарна потужність: 2000 kW;
- Номінальна напруга 6600 В;
- $\cos \varphi$: 0.98
- Номінальний струм: 175 А;
- Кратність пускового струму (номінальна): 2;
- Метод пуску: Перетворювач частоти з векторним керуванням.

Генератор:

- Потужність 2625 kVA;
- $\cos \varphi$: 0.8;

- Номінальний струм: 229 А;
- Номінальна напруга 6600 В;
- Надперехідний індуктивний опір обмотки статора синхронного генератора

по поздовжній осі: $x_d'' = 0.117$

- Перехідний індуктивний опір обмотки статора синхронного генератора по поздовжній осі: $x_d' = 0.191$

Синхронний індуктивний опір обмотки статора синхронного генератора по поздовжній осі: $x_d = 1.18$

Постійна часу обмотки ротора при розімкненій обмотці статора:

$$\tau_{d0}' = 1.73$$

Спочатку розрахуємо потужність, споживану при пуску даного двигуна:

$$S_n = \sqrt{3} \cdot \frac{U}{1000} + I_n \cdot K_n \cdot \cos(\phi) \quad (3.31)$$

де U – напруга двигуна,

I_n - номінальний струм,

K_n – кратність пускового струму двигуна.

$$P_n = \sqrt{3} \cdot \frac{6600}{1000} \cdot 175 \cdot 2 \cdot 0.98 = 3828 \text{ kW}$$

Оскільки потужність при пуску такого двигуна більше потужності одного генератора, то для роботи підрулюючим пристроєм необхідно запускати 2 генератори одночасно ($2 \cdot 2100 = 4200 \text{ kW} / 5250 \text{ kVA}$). Розрахунок провалу напруги виконаємо при двох працюючих однакових генераторах. Тоді їх загальні опори будуть рівні:

$$x_d' = 0.0585, \quad x_d'' = 0.0855, \quad x_d = 0.509, \quad \tau_{d0}' = 1.73$$

Визначимо реактивний опір двигуна:

$$x_\phi = \frac{S_{нг}}{K_n \cdot S_{нд}} \cdot \left(\frac{U_{нд}}{U_{нг}} \right)^2 \quad (3.32)$$

$S_{нг}$, $U_{нг}$ – номінальні потужність і напруга генератора;

$S_{нд}$, $U_{нд}$ – номінальні споживана потужність і напруга двигуна;

K_{π} – кратність пускового струму двигуна.

$$x_{\partial} = \frac{5250}{2 \cdot 2100} \cdot \left(\frac{6600}{6600} \right)^2 = 1.251$$

Початкова напруга:

$$U_{нач} = \frac{x_{\partial}}{x_{\partial} + x'_{\partial}} = \frac{1.251}{1.251 + 0.0585} = 0.955 \quad (3.33)$$

Стала напруга:

$$U_{уст} = \frac{x_{\partial}}{x_{\partial} + x_d} = \frac{1.251}{1.251 + 0.509} = 0.710 \quad (3.34)$$

Постійна часу обмотки збудження генератора при замкнутій обмотці статора на опір x_d .

$$\tau'_d = \tau'_{d0} \cdot \frac{x_{\partial} + x'_d}{x_{\partial} + x_d} = 1.73 \cdot \frac{1.251 + 0.0585}{1.251 + 0.509} = 1.29 \quad (3.35)$$

Час досягнення мінімального значення напруги для генераторів з самозбудженням.

$$t_{\min} = \tau'_d \cdot \ln \left(\frac{U_{нач} - U_{уст}}{K_2 \cdot K \cdot \tau'_d} + 1 \right) \quad (3.36)$$

З формули (3.36) $K=20$, а K_2 буде:

$$K_2 = \frac{x_{\partial}}{x_{\partial} + x_d} = \frac{1.251}{1.251 + 0.509} = 0.71 \quad (3.37)$$

$$t_{\min} = 1.29 \cdot \ln \left(\frac{0.955 - 0.71}{0.71 \cdot 20 \cdot 1.29} + 1 \right) = 0.016 \text{ s}$$

Значення мінімальної напруги:

$$U_{\min} = U_{уст} + (U_{нач} - U_{уст}) \cdot e^{\frac{-t_{\min}}{\tau'_d}} + K_2 \cdot K \cdot \left[t_{\min} - \tau'_d \cdot \left(1 - e^{\frac{-t_{\min}}{\tau'_d}} \right) \right] \quad (3.38)$$

$$U_{\min} = 0.71 + (0.955 - 0.71) \cdot e^{\frac{-0.016}{1.29}} + 0.71 \cdot 2 \cdot \left[0.016 - 1.29 \cdot \left(1 - e^{\frac{-0.016}{1.29}} \right) \right] = 0.971$$

Максимальний провал напруги:

$$\Delta U_{\max} = (1 - U_{\min}) \cdot 100\% = (1 - 0.971) \cdot 100 = 2.9 \% \quad (3.39)$$

Падіння напруги на клемі генератора знаходиться в допустимих межах згідно вимог Регістра.

3.7. Вибір засобів автоматизації СЕЕС, розробка структурної схеми автоматизованої системи управління, розробка алгоритмів управління СЕЕС

3.7.1. Система автоматизації СЕЕС

Систему автоматизації побудуємо на базі контролера компанії DEIF Delomatic-4 (DM-4) – це цифровий пристрій управління і захисту для використання в низьковольтних, середневольтних і високовольтних енергетичних установках. Завдяки своїм вбудованим функціям захисту і можливостям призначеного для користувача інтерфейсу НМІ пристрій є ефективним і вигідним рішенням для всіх типів електроенергетичних установок. Тому DEIF є основою системи автоматизації СЕЕС і вбудований в ГРЩ (рис. 3.17).

Контролер зазвичай використовується з дисплейним модулем DU-delomatic4 та додатковою панеллю оператора Additional Panel Operator APO.



Рисунок 3.17 – ГРЩ судна з контролерами DEIF

Основні функціональні можливості контролерів DM-4:

1. Внутрішній самоконтроль працездатності
 2. Управління, захист, моніторинг
 3. Захист трифазних генераторів
 4. Автоматична синхронізація і розподіл навантаження
 5. Резервовані шини CAN
 6. Підключення додаткових віддалених дисплеїв і панелей оператора
 7. Інтерфейси Modbus RS485 і TCP / IP
 8. Підключення графічних сенсорних панелей DEIF AGI
 9. Зв'язок з контролером двигуна по CANbus J1939
 10. Журнали несправностей і подій, USB порт для сервісного підключення
 11. Пряме вимірювання напруги до 690В
 12. Алгоритми запуску / зупинки генераторів по навантаженню
 13. Автоматичний вихід зі стану знеструмлення
 14. Завдання пріоритетів і режим базової потужності
 15. Управління підключенням потужних споживачів і відключення невідповідальних
 16. Оптимізація витрат палива
 17. Функція М-Логіка
 18. Функція імітації роботи заданої конфігурації
- Журнал нагадування та подій
- Розширені розрахунки запуску / зупинки, що залежать від навантаження
- Профілактика та відновлення затемнення
- Вибір пріоритету
- Службове програмне забезпечення через Ethernet для віддаленого доступу

Загальний опис контролера суднової електростанції DM-4

Контролер Delomatic 4 (DM-4) призначений для організації системи управління суднової електростанцією. Пристрій має високу надійність, гнучку архітектуру і широкий набір функцій для автоматизації судових електростанцій.

Система управління розроблена для важких умов експлуатації і відрізняється високою надійністю.

Система управління на базі контролерів Delomatic 4 (DM-4) може бути використана для автоматизації наступних типів електростанцій:

- Суден з електричним рухом (класів DP2 і DP3)
- Суден постачання з 2 валогенераторами і 2 або більш ДГ
- Суден з генераторним і руховим режимами валогенератора
- Управління декількома секційними вимикачами

Система управління дозволяє організувати паралельну роботу, моніторинг та захист до 15 генераторних агрегатів різного типу. Крім того, система Delomatic 4 (DM-4) може керувати секційними і береговими вимикачами.

Система включає широкий набір функцій управління, таких як запуск / зупинка в залежності від навантаження, програмований пріоритет запуску, управління групами навантажень, відключення невідповідальних навантажень, автоматичний вихід їх знеструмлення.

Контролер забезпечує відображення вимірюваних параметрів та іншої важливої інформації на РК дисплеї.

До дисплея можна додати панель оператора (AOP) з 8 кнопками і 16 світлодіодами.

Панель AOP-1 стандартно поставляється для одного головного контролера генераторного агрегату.

Панель AOP-1 підключається до дисплея кабелем 0,5 м. За допомогою шини CANbus можливо підключення декількох додаткових панелей AOP-2 (макс. 200 м від контролера). Максимально до 5 панелей AOP може бути підключено до шини CANbus. Панелі AOP служать для індикації додаткової інформації про стан з системи і дозволяють задати різні режими роботи.

DM-4 мережі

Внутрішній зв'язок між контролерами електростанції організована по спеціалізованій шині DM-4.

Модуль РСМ 4-5 має два комунікаційних інтерфейсу для резервування внутрішнього зв'язку. Функція резервування внутрішнього каналу зв'язку контролерів DM-4 є опцією.

Модуль РСМ 4-1 має один комунікаційний інтерфейс для організації внутрішнього каналу зв'язку.

Модулі РСМ 4-1 і РСМ 4-5 можуть використовуватися спільно також з перетворювачами на оптику для роботи на великих відстанях.

Зв'язок із зовнішньою системою аварійної сигналізації і моніторингу може здійснюватися через інтерфейси RS485 Modbus RTU, Modbus TCP / IP або CANopen.

Контролер генераторного агрегату (DGU)

Всі модулі Delomatic 4 (DM-4) розміщуються в стійці DGU. Доступні 4 різних розміру стійки в залежності від необхідної кількості входів / виходів і керованих вимикачів. Контролер Delomatic 4 (DM-4) складається з модулів всього 4 різних типів:

РСМ 4-1 (8TE), модуль включає в себе блок живлення, головний ЦП системи, входи / виходи і різні комунікаційні інтерфейси (3 x CAN, 1 xRS485, DM-4 LAN, сервісний порт USB).

РСМ 4-5 (8TE), модуль включає в себе блок живлення, головний ЦП системи, входи / виходи і різні комунікаційні інтерфейси (2 x CAN, 2 xRS485, 1 x Ethernet, DM-4 LAN, сервісний портUSB).

ІОМ 4-1 (6 TE), універсальний модуль входів / виходів, 16 входів (тип аналоговий або дискретний вибирається за допомогою перемикача), 12 релейних виходів, 2 аналогових виходу (0 (4) ... 20 мА).

SCM 4-1 (6 TE), перетворювач високоточних 3-фазних електричних вимірювань (клас 0.5), інтегрована функція синхронізації і управління вимикачем.

SCM 4-2 (12 TE), перетворювач високоточних 3-фазних електричних вимірювань (клас 0.5), інтегрована функція синхронізації і управління вимикачем.

Дисплей контролера (DU) є окремим пристроєм і встановлюється на двері розподільного щита. До кожного контролера генераторного агрегату можливо підключити до трьох дисплеїв і встановити їх в різних місцях.

Додаткові панелі оператора (AOP-1 / AOP-2) можуть бути підключені до будь-якого з дисплеїв DU для додаткових функцій і індикації, одна панель AOP-1 і до п'яти панелей AOP-2 можуть бути підключені до кожного дисплею DU.

Безпека: Згідно EN 61010-1, категорія перенапруги III 600V AC.

3.7.5. Загальні відомості про систему управління електростанцією

Система складається з Блоків Управління Генераторами (Deif Generator Unit-DGU), їх Панелей Управління (ПУ) (Control Panel-CP) і програмного забезпечення. Взаємодія блоків DGU між собою і зі своїми панелями управління (CP) здійснюється за допомогою мережі ARC-network. Прикладне програмне забезпечення (ПЗ) системи складається з двох блоків, що взаємодіють між собою: ПЗ управління генераторним агрегатом і ПЗ автоматичного управління електростанцією (Power Management System - PMS). Структурна схема АСУ СЕЕС приведена на рис. 3.19.

ПО управління генераторним агрегатом здійснює контроль і безпосереднє управління агрегатом, виконуючи команди, отримані від оператора або PMS.

ПО PMS здійснює управління електростанцією в цілому, відповідно до вибраного режиму управління електростанцією

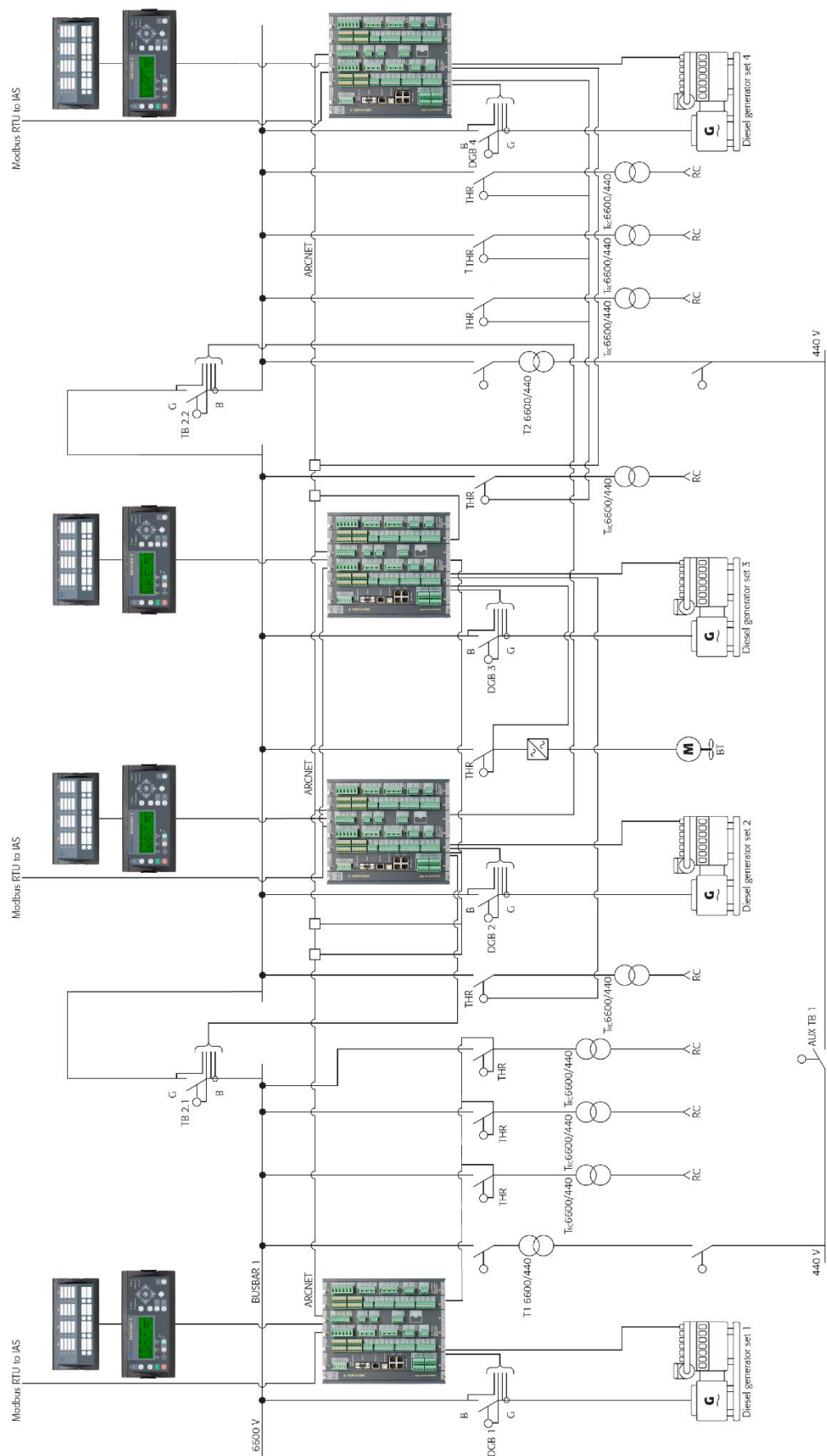
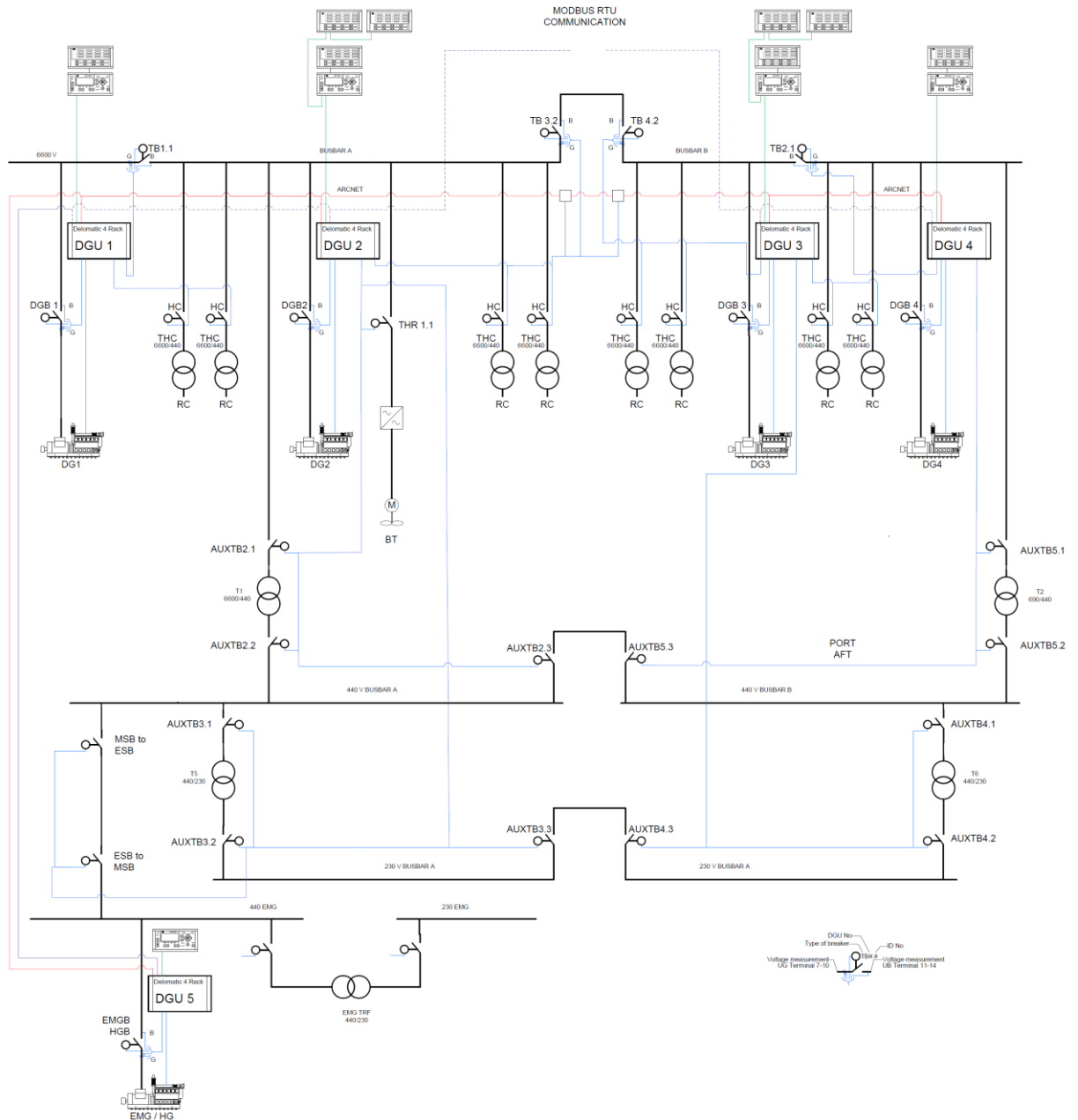


Рисунок 3.19 – Система автоматизації СЕЕС на базі контролерів DEIF delomatic4 DM4, display unit DU-delomatic4, additional panel operator APO



При управлінні електростанцією з системою PMS можливе завдання наступних режимів:

- Напіваавтоматичний (SEMI-AUTO);
- Автоматичний (AUTOMATIC);
- Безпечний (маневрений) (SECURED).

Вибір одного з перерахованих режимів здійснюється за допомогою кнопок, встановлених на панелі DU.

Напіваавтоматичний режим роботи.

Даний режим вимагає безпосереднього втручання оператора. Всі автоматичні послідовності виконуються тільки після його команд, що задаються за допомогою кнопок, розташованих на ПУ.

В даному режимі реалізовані наступні автоматичні функції (послідовності):

- Автоматична послідовність запуску і зупинки;
- Автоматична послідовність включення генераторного автомата, в тому числі і динамічна синхронізація;
- Автоматична послідовність виключення генераторного автомата.

Автоматичний режим роботи

В цьому режимі знаходяться всі генераторні агрегати, які були вибрані для контролю PMS. Генератори забезпечують харчування обох секцій шин, міжсекційних автомат включений.

В даному режимі проводиться автоматичне керування частотою і розподілом навантаження.

Навантаження розподіляється між працюючими генераторами в залежності від обраного режиму:

- Симетрично; - Асиметрично.

Автоматичний пуск і зупинка генераторів в залежності від навантаження на ГРЩ виконується відповідно до заданих параметрів і в порядку заданої черги. При цьому враховуються задані обмеження на кількість працюючих / зупинених генераторних агрегатів, також враховуються можливі несправності в процесі пуску і синхронізації. Дані несправності призводить до заміщення несправного ДГ наступним у черзі.

Безпечний режим роботи

Режим роботи схожий на автоматичний. Але в безпечному режимі межа, при якому здійснюється запуск / зупинка чергового ДГ, встановлений рівним номінальної потужності самого потужного генератора. Це дозволяє мати на шинах достатній

резерв потужності, і раптове відключення будь-якого з генераторів не зможе привести до знеструмлення електростанції.

Режим ручного управління

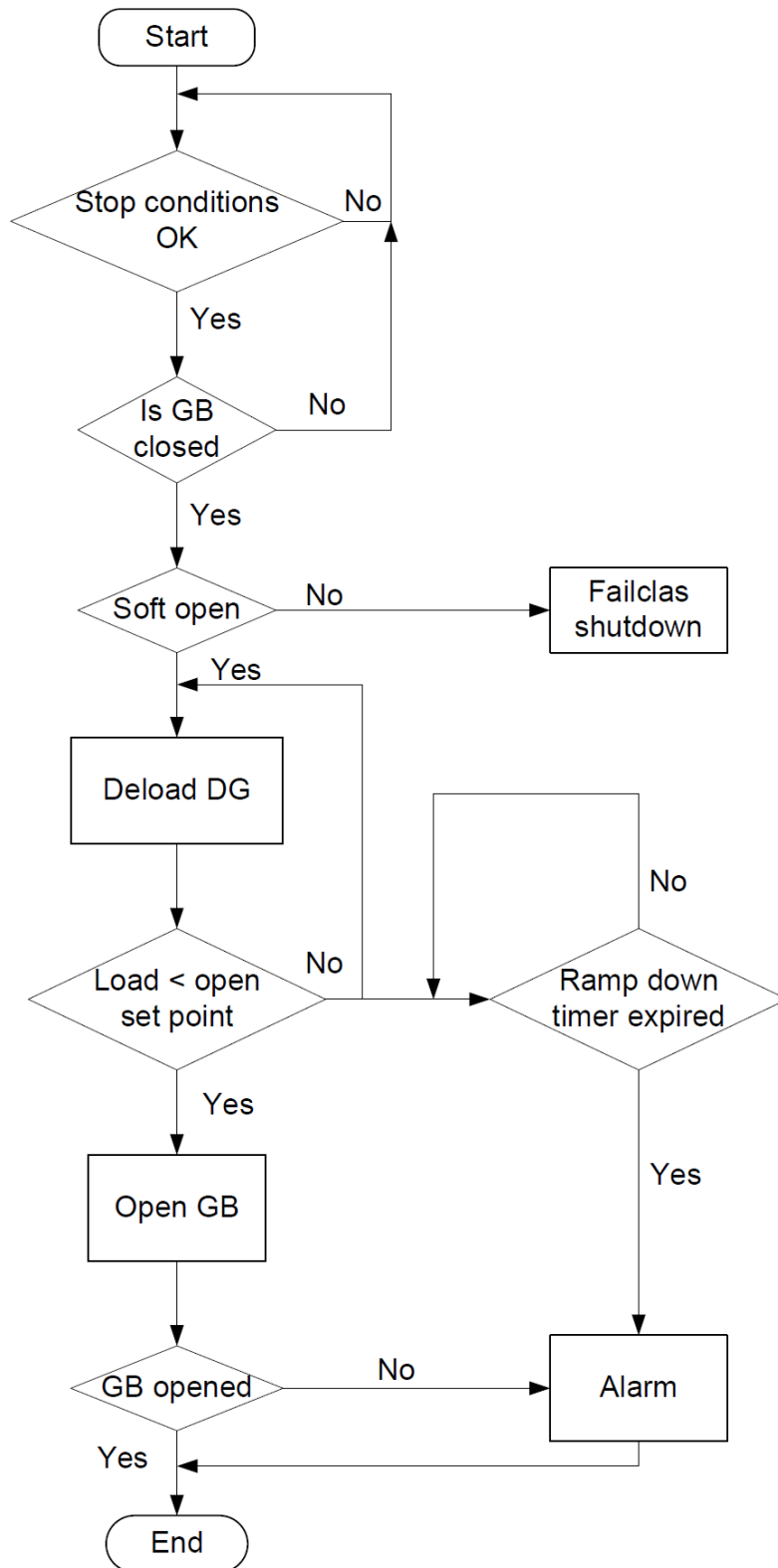
В цьому режимі генераторний агрегат виведений з автоматичного режиму управління. DGU забезпечує тільки такі функції захисту генераторного агрегату:

- Внутрішній контроль системи;
- Контроль параметрів дизеля;
- Контроль параметрів шин ГРЩ;
- Захист дизеля;
- Захист від КЗ;
- Відключення невідповідальних споживачів при перевантаженні ГА.

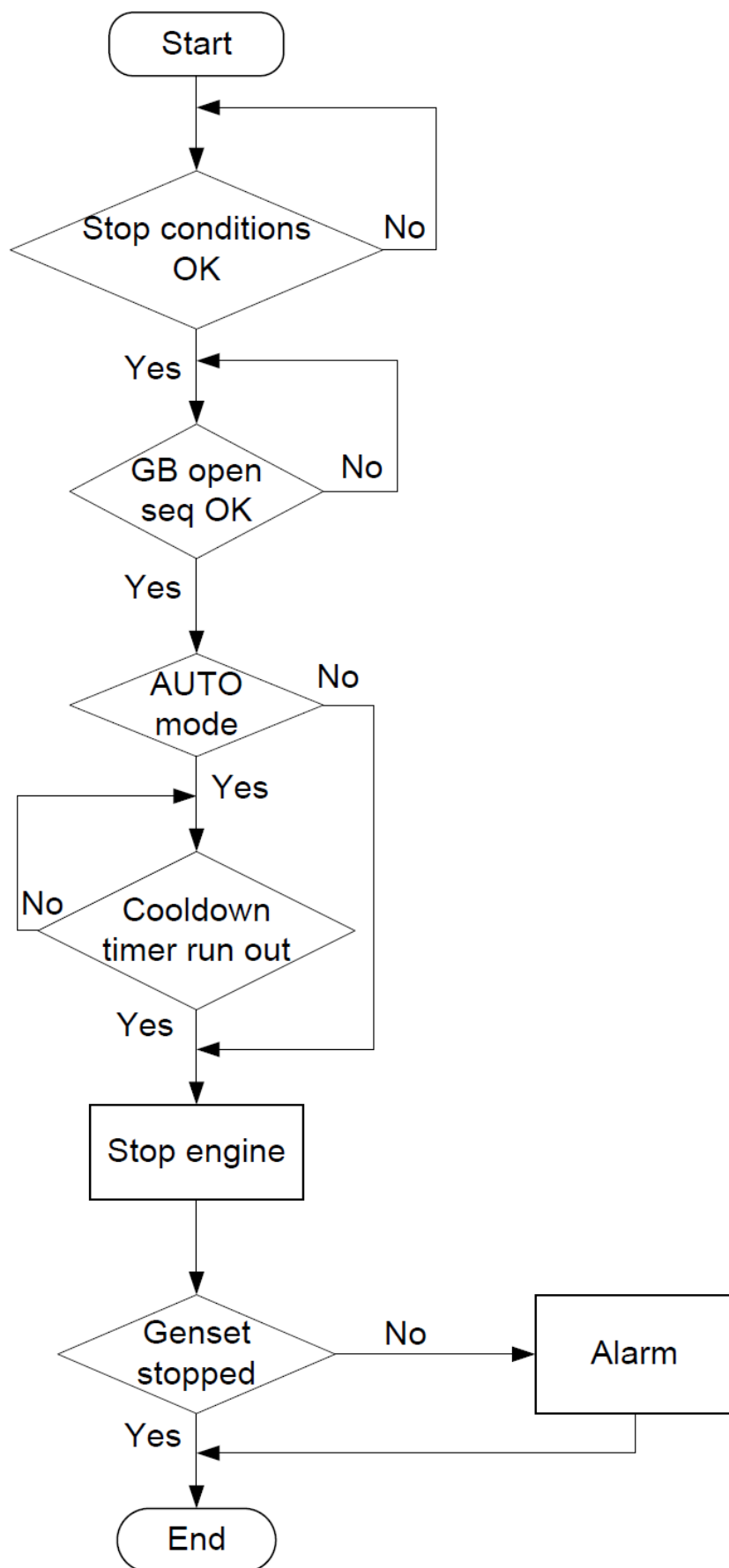
3.9. Функції зупинки, пуску та синхронізації дизель-генераторів

Ці функції включають в себе автоматичне керування обраним Diesel Generator та Generator Breaker.

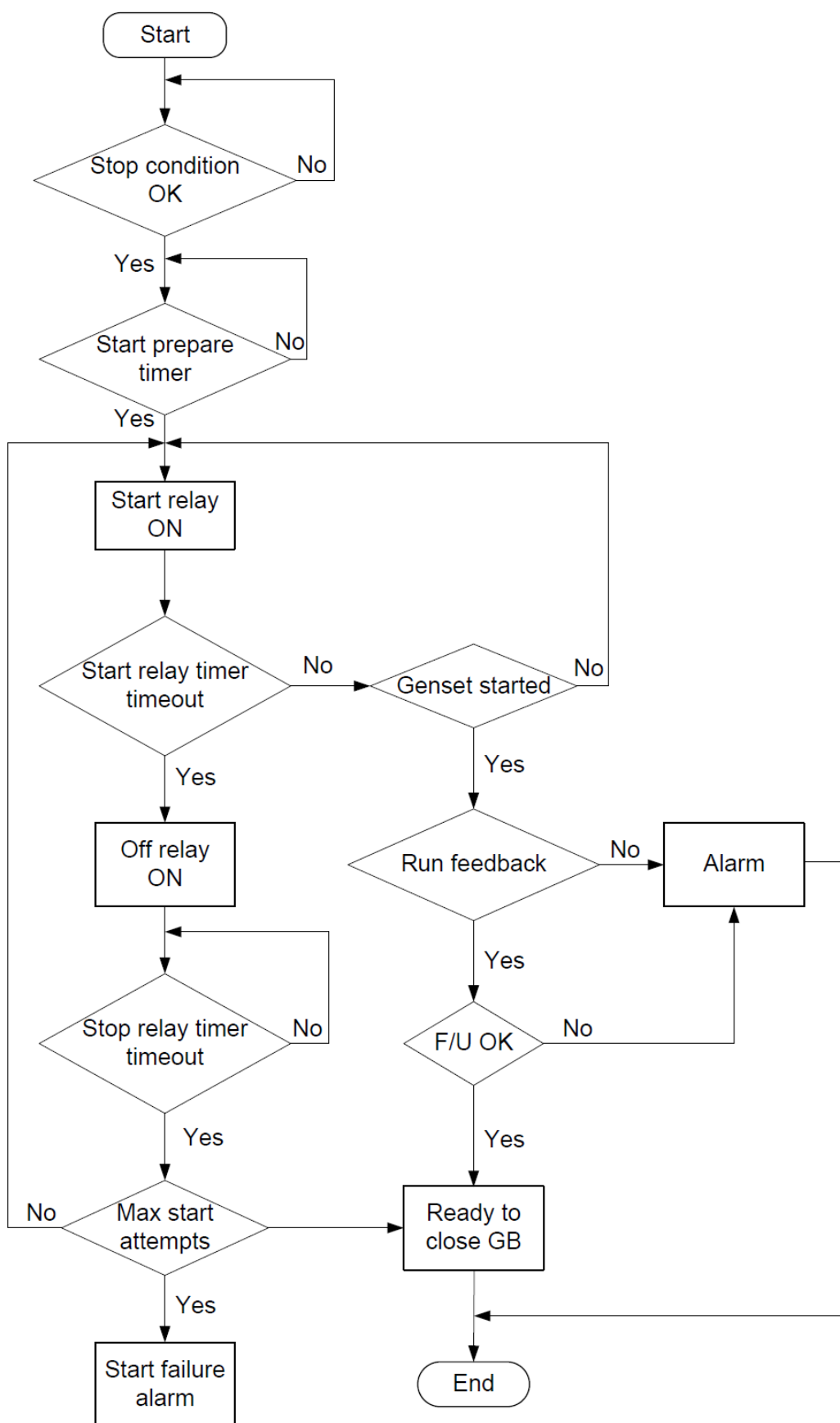
Алгоритм процедуры відключення Generator Breaker



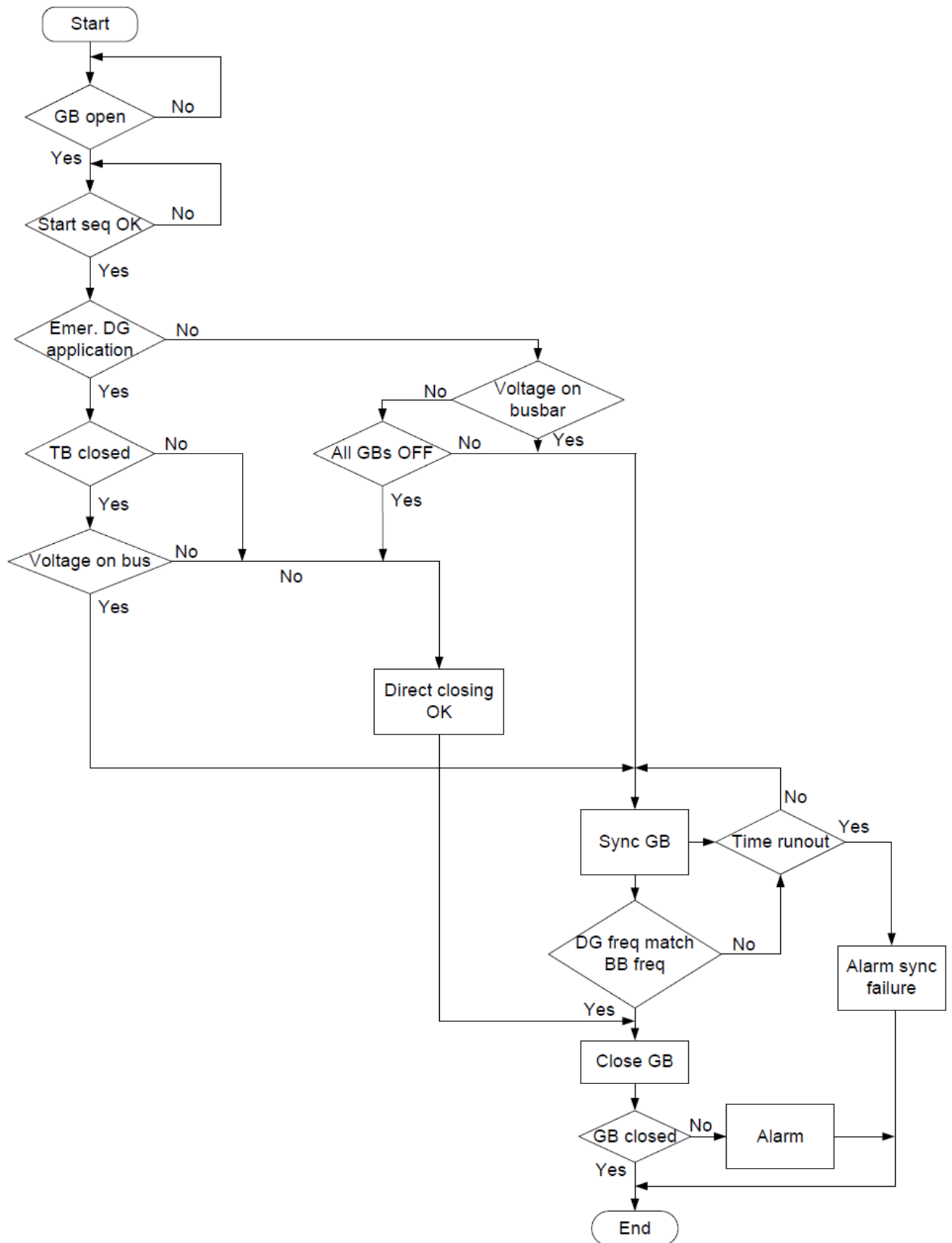
Зупинка ДГ



Запуск ДГ



Вмикання Generator Breaker



Висновки до розділу 3

В розділі виконано аналіз суднової електроенергетичної системи. Розраховано потужності та вибрано кількість агрегатів суднової електростанції на підставі аналізу потужності в ходовому, маневровому, стояночному та аварійному режимах. Вибрано силову комутаційну апаратуру. Розраховано струми короткого замикання та вибрано генераторні автомати. Надано опис принципів роботи системи збудження безщіткових генераторів. Розраховано провал напруги під час запуску найпотужнішого електроспоживача.

За всіма показниками обране обладнання відповідає вимогам Регістру.

На базі контролерів компанії DEIF серії DELOMATIC-4 (DM-4) вибрано елементи системи автоматизації суднової електроенергетичної станції, надано однолінійну принципову та функціональну схеми СЕЕС, відображено інформаційні зв'язки відповідно до рекомендованих технічних рішень, мережі DM-4. Надано опис та алгоритми виконання основних операцій: зупинки, пуску та синхронізації дизель-генераторів.

4. АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА ПРИСТРОЇВ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

4.1. Система утилізації тепла головного двигуна

З підписанням в 1997 р Кіотського протоколу регулювання викидів парникових газів (ПГ), включаючи пов'язану з цим економічну діяльність, яка до цього була виключною прерогативою національних урядів, стало об'єктом міжнародних угод. Кіотський протокол поклав початок скорочення викидів ПГ в атмосферу для стримування глобального потепління, встановлюючи квоти по викидах для кількох розвинених країн. Підписання в Парижі 12 грудня 2015 р Рамкової Конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату стало результатом зусиль світової спільноти, спрямованих на регулювання викидів ПГ та обмеження глобального потепління на рівні 1.5°C. Для морської галузі всі правові та технічні питання регламентуються Міжнародною морською організацією (далі ІМО) в рамках міжнародної конвенції MARPOL-73/78 за забруднення з суден. Діяльність ІМО по розробці своїх інструментів (Міжнародних конвенцій, циркуляри та ін.) здійснюється робочими органами – Комітетами ІМО. Одним з них є Комітет із захисту морського середовища, який, зокрема, працює над розвитком вищевказаної конвенції. Конвенція має 6 додатків. Додаток VI [37] спрямовано на захист атмосфери від забруднення з суден. Крім відомих заходів, що вживаються щодо захисту атмосфери від викидів оксидів сірки, оксидів азоту і твердих частинок, ІМО виступила з ініціативою розробки інструменту по захисту атмосфери від ПГ. Ці вимоги увійшли в главу 4 Додатка VI до цієї конвенції і спрямовані на зниження емісії ПГ з судів. Відповідно до [38] на сектор економіки, пов'язаний з морською галуззю (міжнародні, каботажні морські перевезення і рибальство), доводиться 3,3% викидів CO₂. Там же наводиться інформація за кількісними викидів для конкретних типів морських суден.

Хоча Паризька хартія прямо не згадує ІМО в якості основного форуму для вирішення проблеми викидів ПГ, але вона поширює вимоги ІМО абсолютно на всі

антропогенні викиди ПГ, в тому числі і на потужні дизельні та дизель-генераторні установки.

Так, відповідно до зазначеного вище Додатком VI, викиди ПГ рекомендується враховувати за допомогою індексу енергоефективності (Energy Efficiency Design Index - EEDI), який характеризує енергетичні можливості технічного засобу при найменших витратах ресурсів для вироблення енергії.

У ряді випадків його оцінка проводиться з урахуванням встановленого силового і енергозберігаючого обладнання, не нехтуючи можливостями застосування інноваційних технологій в енергетиці, включаючи інтегрований підхід до визначення цих можливостей на стадії проектування або реконструкції. У найпростішому випадку оцінка виконується за комплексним показником якості енергетичної установки, виходячи з її витратних і ресурсних показників.

У той же час, в сучасному двигунобудуванні і суднобудуванні не тільки декларується, але і відбувається перехід від окремих випадків підвищення ККД агрегату до комплексної інтегральної оцінки всіх аспектів впливу на енергетичні показники судна або механізму в цілому. Підвищення ефективності та екологічної безпеки були вивчені на тлі необхідності задоволення вимог ІМО, що вступили в силу в 2013 р. Дослідження показали, що потенціал для економії енергії великий, в деяких випадках він досягає 50%. У зв'язку з виниклою потребою введення показника, що свідчить про ефективність щодо паливної економічності і викидів ПГ, пропонувалося ввести Конструктивний індекс CO₂, а також індикатор експлуатаційної ефективності, який визначає ефективність засобу пересування по кількості CO₂ в тоннах, викинутого окремою установкою за період рейсу на тонну перевезеного вантажу на відстань в 1 милю.

Зниження емісії ПГ визначається відповідно до Поправки Додатку VI MARPOL з технічних заходів скорочення викидів ПГ відповідно до Резолюції ІМО МЕРС.203 (62), яка набрала чинності 1 січня 2013 року.

Досягнутий EEDI повинен визначатися відповідно до переглянутих в «Інструкції ІМО до методів розрахунку Конструктивного індексу для нових суден, 2012»її, наведеної в Резолюції МЕРС.212 (63):

$$Actual\ EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot CF_{ME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot CF_{AE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot Capacity \cdot v_{ref} \cdot f_w} +$$

$$+ \frac{\left(\left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)} \right) \cdot CF_{AE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot CF_{ME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot Capacity \cdot v_{ref} \cdot f_w}$$

де відповідно до МЕРС 63/23 Додаток 8, [40, 41]:

Capacity - це місткість судна, що вимірюється в дедвейте або валовій тоннажі на літній вантажній лінії. У випадку з контейнерними суднами це приймається як 70% від ваги, [тонн].

CF_{AE} - коефіцієнт вуглецю для палива допоміжного двигуна, [гCO₂ / г палива]

CF_{ME} - коефіцієнт вуглецю для основного палива для двигуна, [гCO₂ / г палива]

EEDI - фактичний показник проектної енергоефективності для судна, [гCO₂ / т. Нм]

f_{eff} - це поправочний коефіцієнт доступності інноваційних технологій.

f_i - поправочний коефіцієнт для місткості суден з технічними або нормативними обмеженнями в ємності.

f_j - поправочний коефіцієнт для суден, що мають специфічні конструктивні особливості: наприклад, криголам.

f_w - поправочний коефіцієнт для зменшення швидкості внаслідок репрезентативних морських умов.

M - кількість силових валів, якими володіє корабель.

n_{eff} - це кількість інноваційних технологій, що містяться в дизайні.

n_{ME} - це кількість основних двигунів, встановлених на судні.

n_{PTI} - це кількість систем прийому енергії.

P_{AE} - це допоміжні вимоги до потужності судна за нормальних морських умов, [кВт]

$P_{EA_{eff}}$ - це допоміжне зниження потужності завдяки використанню інноваційних технологій, [кВт]

P_{eff} приймається як 75% встановленої потужності для кожної інноваційної технології, що сприяє рушійному силу судна, [кВт]

P_{ME} - основна встановлена потужність судна, [кВт]

P_{PTI} приймається як 75% встановленої потужності для кожної системи прийому енергії. Наприклад, приводні валові двигуни, [кВт]

SFC_{AE} - це питома витрата палива для допоміжних двигунів, визначена сертифікацією NOX, [г / кВт-год]

SFC_{ME} - це питома витрата палива для основних двигунів, визначена сертифікацією NOX, [г / кВт-год]

V_{ref} - це швидкість судна в ідеальних морських умовах, коли гвинт поглинає 75% основного рушійного (-их) двигуна (-ів) MCR, коли судно плаває у глибокій воді.

Зростаючий інтерес до зниження експлуатаційних витрат на судах і скорочення викидів ПГ передбачають заходи, що забезпечують оптимальне використання палива, використовуваного для головного двигуна (ГД). Слідуючи тенденції щодо підвищення загальної ефективності установки після першої нафтової кризи в 1973 році, ККД ГД зріс, і на сьогоднішній день становить близько 50%. Це високе значення, крім іншого, призвело до низьких значень питомої витрати палива, а також, відповідно, до більш низькій температурі відпрацьованих газів (ВГ) після турбокомпресорів (ТК). Незважаючи на те, що енергоефективність споживаного палива 50%, є відносно високою, основним завданням як і раніше є подальше зниження не тільки експлуатаційних витрат, але і загальної витрати палива. Це також може привести до подальшого скорочення викидів CO_2 і підвищенню енергетичної ефективності потужних силових дизельних або дизель-генераторних установок при мінімізації паливних витрат.

На рис.4.1 зліва показаний тепловий баланс для найбільш поширених типів головних дизельних двигунів. Очевидно, що основні втрати пов'язані з виділенням тепла відпрацьованих газів (ВГ), на які припадає близько половини загального відпрацьованого тепла, тобто близько 25% від загальної енергії палива. Енергія ВГ на сьогоднішній день є найбільш привабливою серед джерел відпрацьованого тепла на судні через інтенсивний тепловий потік і досить високу температуру. Одним із способів підвищення ефективності є застосування систем рекуперації (утилізації) тепла відпрацьованих газів WHRS (Waste Heat Recovery System). При

цьому для ГД в поєднанні з WHRS загальний ККД збільшується приблизно до 55%. Формула (1) дозволяє розглянути можливість додавання WHRS, проаналізувати її ефективність і виконати відповідні налаштування.

Основним призначенням WHRS є перетворення енергії ВГ в електричну енергію для споживачів на борту. Відповідно до [42] потужність WHRS може становити до 11% від потужності ГД (рис. 4.1 праворуч) за рахунок застосування як парових (ПТ), так і газових турбін (ГТ), в поєднанні з використанням енергії продувального повітря для підігріву води в системі опалення в утилізаційному котлі (КК).

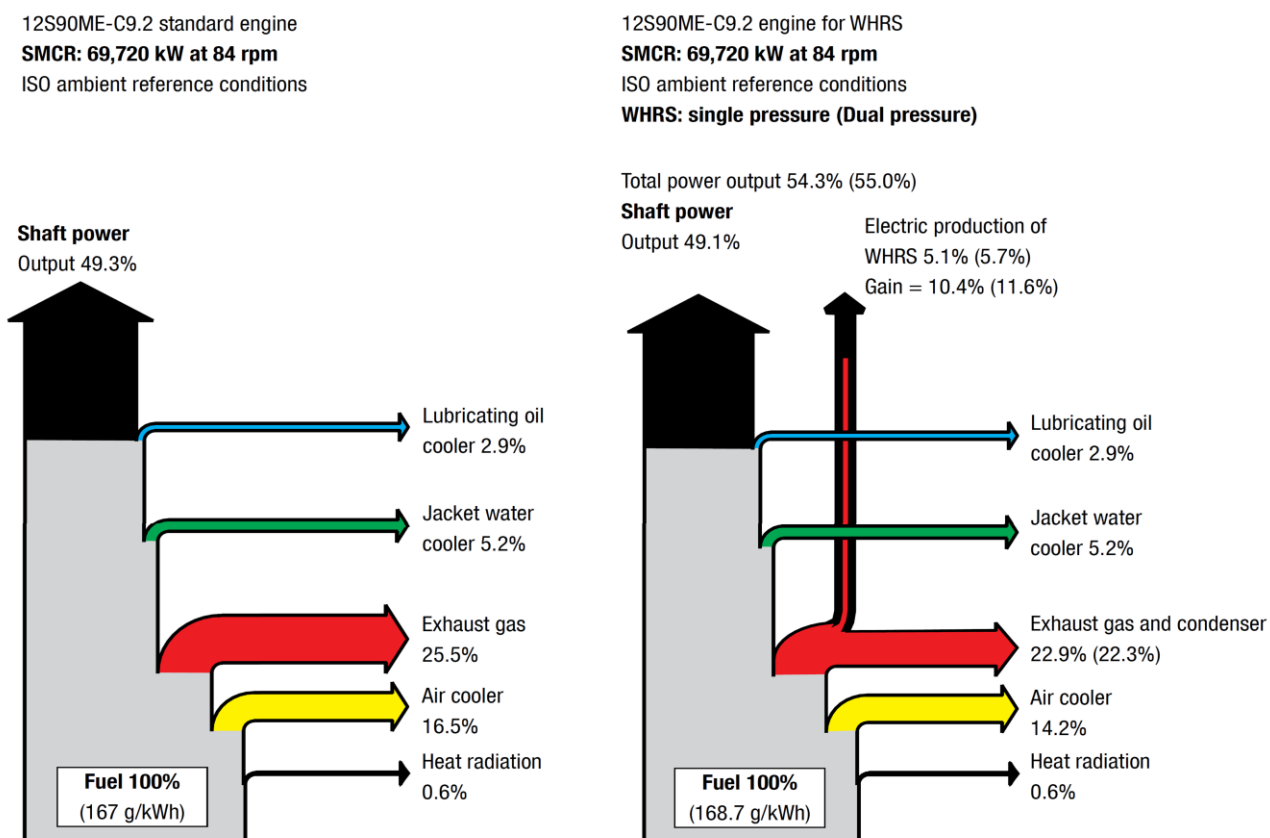


Рисунок 4.1. – Тепловий баланс головних двигунів MAN D&W з та без WHRS [42]

В даний час питаннями створення WHRS активно займаються такі відомі фірми, як SIEMENS (ФРН) і ABB (Шведсько-Швейцарське спільне підприємство), Mitsubishi (Японія).

Функціональна схема WHRS приведена на рис. 4.2 [45].

Принцип дії системи полягає в наступному: велика частина відпрацьованих газів з випускного колектора (ВК) надходить на турбокомпресор (ТК), що забезпечує роботу ГД, а їх менша частина надходить на ГТ, що приводить в дію генератор, приєднаний до неї. Гарячі ОГ, які пройшли через ТК і ГТ надходять в КК, де відбувається нагрівання частини води із системи охолодження ГД, використовуваної для виробництва пари, що направляється на ПТ для виробництва електроенергії.

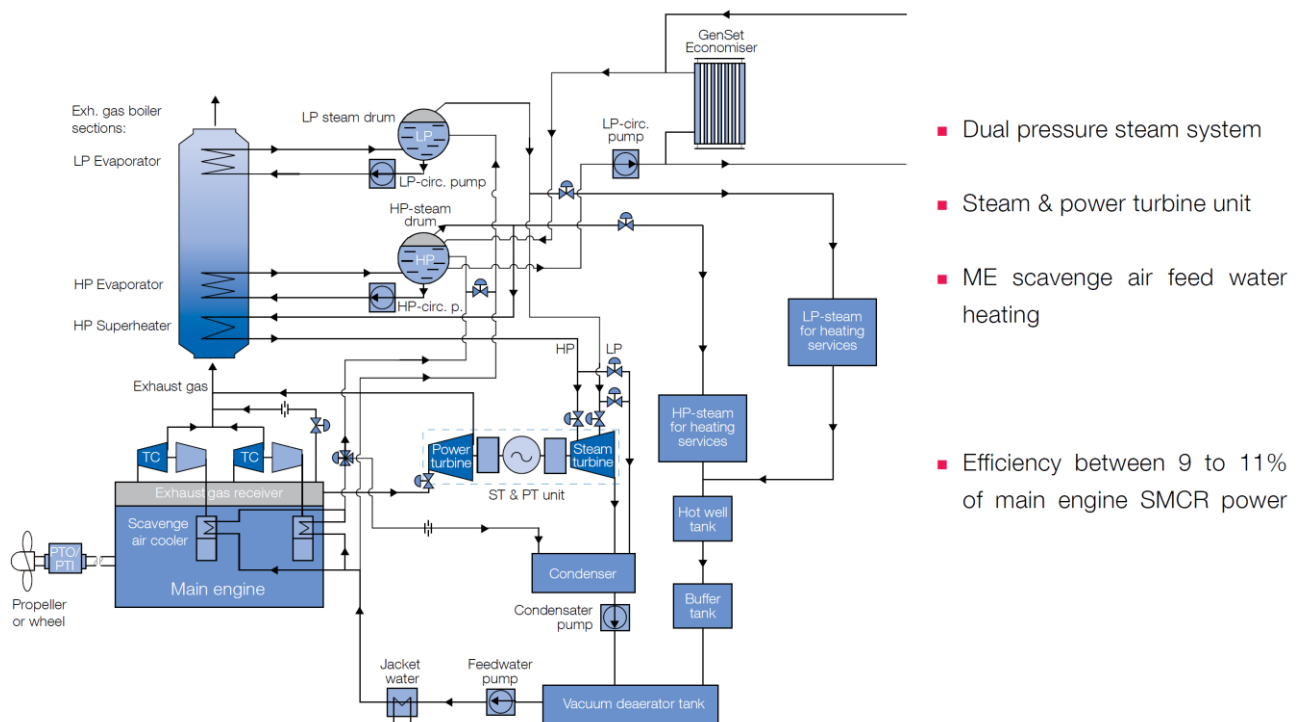


Рисунок 4.2. – Функціональна схема WHRS [45]

Для головних двигунів MAN B&W компанією-виробником створено спеціальну дуже зручну on-line програму CEAS Engine Calculation MAN B&W [47]. Вона дозволяє у повному обсязі отримати інформацію про енергетичний ефект використання WHRS.

Так, для двигуна, аналогічного до MAN B&W 10K98MC-C-2 stroke 10 cylinder 980 x 2.400 mm diesel engine - 57.100 kW / 77.582 hp at 104,0 rpm за допомогою цієї програми отримано характеристики двигуна, які наведено на рис. 4.3 та табличні результати (Табл. 4.1).

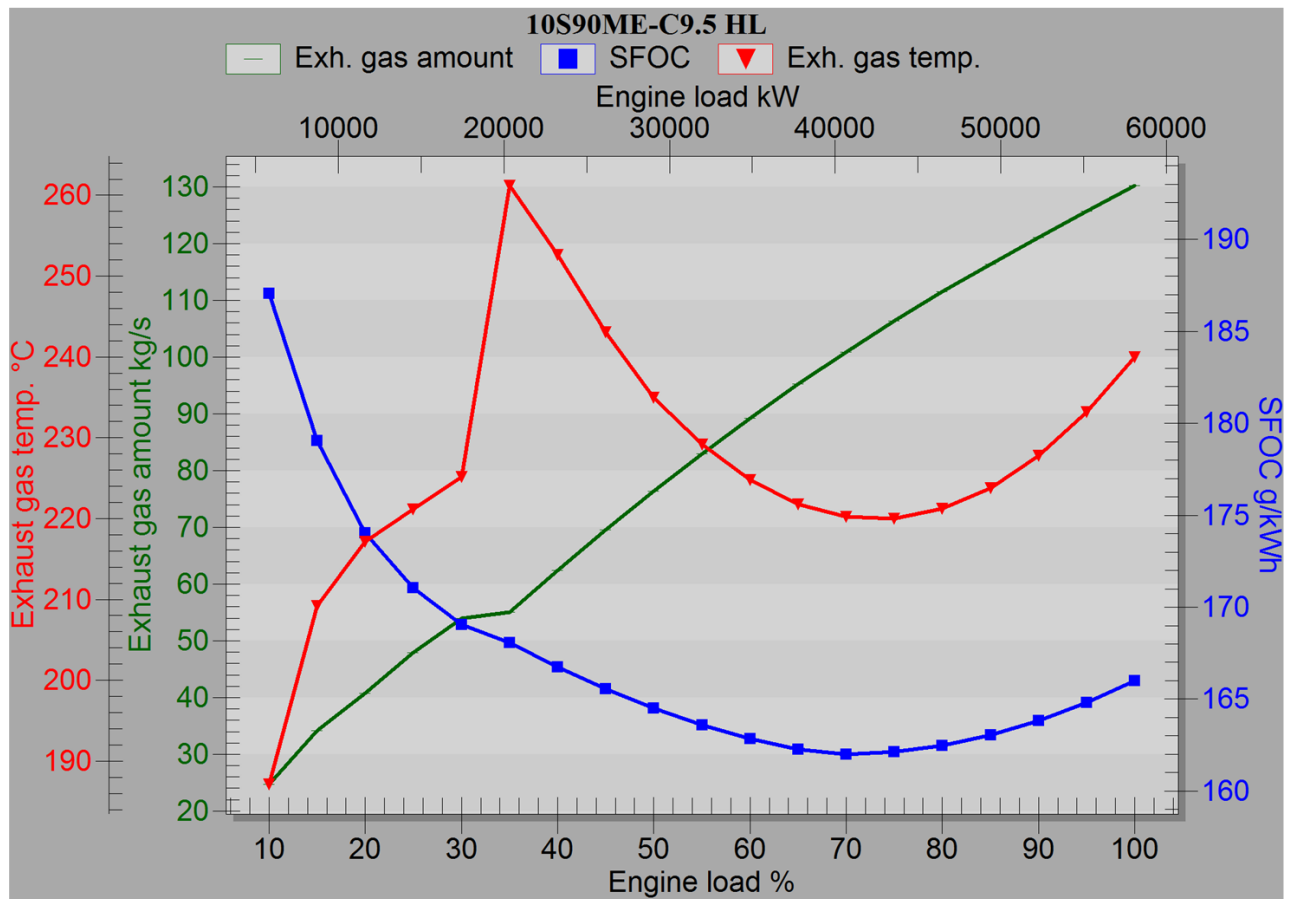


Рисунок 4.3. – Характеристики ГД серії 10

Таблиця 4.1. Енергетичні показники ГД

Power ME, %	Power ME, kW	Speed, rpm	SFOC, g/kWh	Exh.gas, kg/s	P _{ME} , kPa	T _{1ME} , K
100	58100	84	166,5	127,5	405	523
90	52290	81,1	164,1	118,7	368	510
80	46480	78	162,6	109,2	336	503
75	43575	76,3	162,2	104,2	322	503
70	40670	74,6	162,1	98,8	302	502
60	34860	70,8	162,9	87,4	261	506
50	29050	66,7	164,5	74,8	221	516

Табл. 4.2. Потужність WHRS для ГД MAN B&W 10S90ME-9.2-ТII

Кількість циліндрів ГД	Потужність ГД		ГТ	ПТ	Потужність WHRs
	Ngд, %	kW	kW	kW	kW
10	100	58100	2185	3196	4939
	75	43575	1529	2301	3358

Отримані результати в робочій зоні ГД (50...100 % номінальної потужності) можуть бути апроксимовані параболічною або лінійною залежністю, що суттєво спрощує розрахунки. Графіки наведено на рис. 4.4.

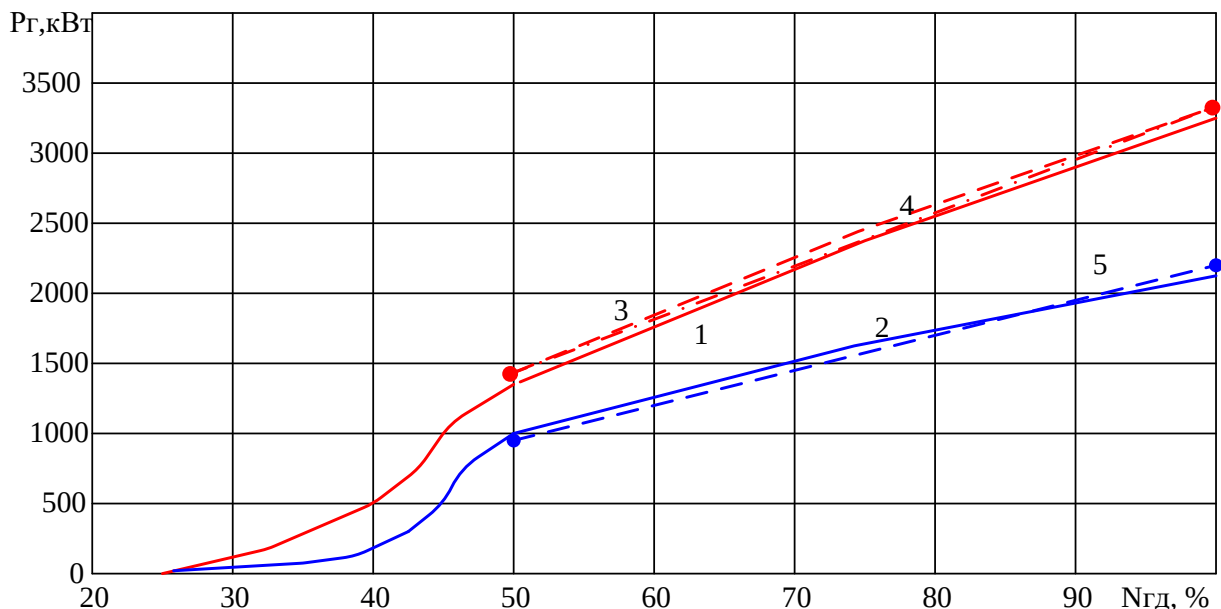


Рисунок 4.4. – Потужність WHRS: 1 – ПТ; 2 – ГТ;

3, 4 – лінійна і параболічна апроксимація для ПТ в робочій зоні; 5 – лінійна апроксимація для ГТ в робочій зоні

З отриманих результатів видно, що в залежності від складності використаної WHRS на судні додатково можна отримати 3.7 % енергії від газової турбіни, 5.5 % від парової турбіни та 9.2 % при встановленні повної версії WHRS. В останньому випадку при 100 % навантаженні ГД WHRS дозволяє замінити 2 ДГ, а при половинному навантаженні ГД – 1 ДГ.

4.2 Технічні характеристики і конструктивні особливості суднової комп'ютерної мережі інформаційних і управляючих систем

Доступ будь-якого комп'ютера суднової мережі до пристроїв вводу-виводу або контролерів здійснюється за допомогою OPC – серверу.

OPC- сервер – (OLE for Process Control) - набір повсюдно прийнятих специфікацій, що надають універсальний механізм обміну даними в системах контролю і управління. OPC технологія забезпечує незалежність споживачів від наявності або відсутності драйверів або протоколів, що дозволяє вибирати устаткування і програмне забезпечення якнайповніше, що відповідає реальним потребам.

Приклад архітектури такої системи показаний на рисунку 4.4. Вона є достатньо загальною і широко використовується як для лабораторної автоматизації, так і для автоматизації технологічних процесів. Завдяки наявності мережі Ethernet в систему легко можуть бути включені сервери баз даних, комунікаційні сервери, сервери-веб, принтери, плоттери, АТС, факси, технологічне устаткування і інші пристрої з Ethernet-інтерфейсом .

Основою програмного забезпечення, встановленого на комп'ютерах мережі, є SCADA - пакети - програмні засоби диспетчерського управління і збору даних.

Аналіз складних систем управління дозволяє виділити в них декілька однорідних рівнів ієрархії. WAN (Wide Area Network) - глобальна мережа, LAN (Local Area Network) - локальна мережа.

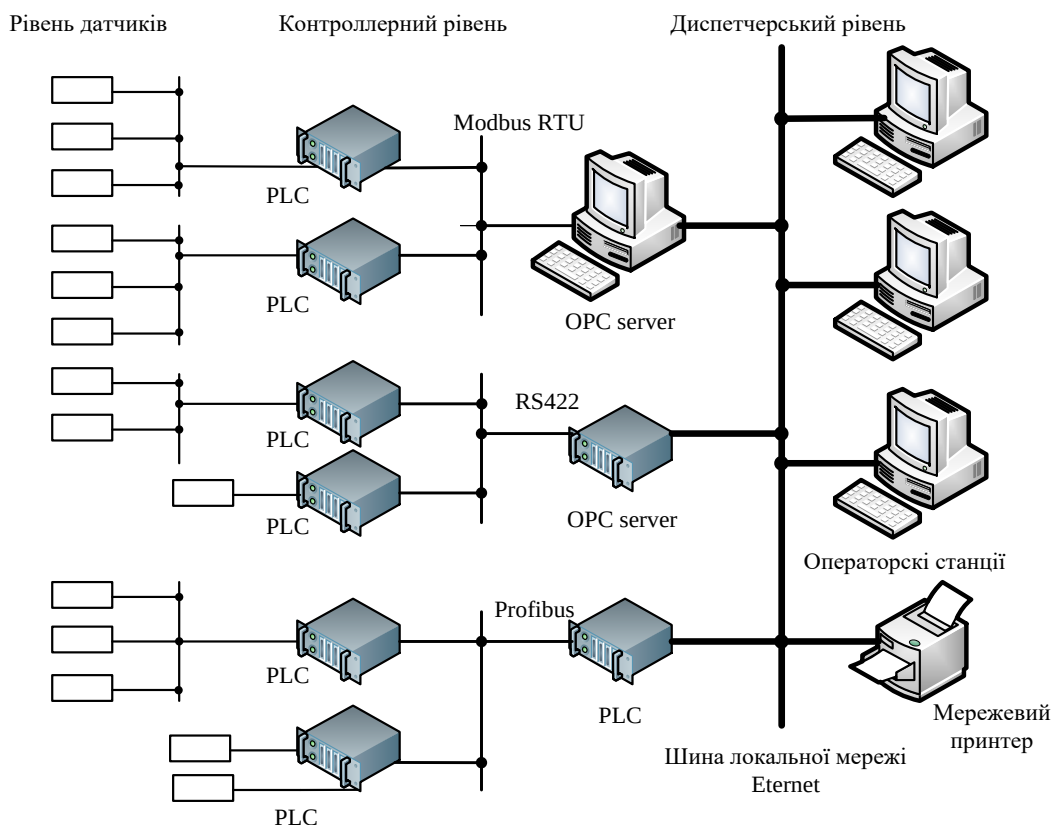


Рисунок 4.3 – Типова сучасна розподілена система автоматизації

Нижчий (нульовий) рівень включає датчики і виконавчі пристрої (актуатори): датчики температури, тиск, кінцеві вимикачі, дискретні датчики наявності напруги, вимірювальні трансформатори, реле-пускаті, контактори, електромагнітні клапани, електроприводи і ін. Датчики і актуатори можуть мати інтерфейси типу AS - інтерфейс (ASI), 1 - Wire або CAN, HART і ін. Перший рівень складається з програмованих логічних контролерів і модулів аналого-цифрового і дискретного введення-висновку, які обмінюються інформацією по промисловій мережі (Fieldbus) типу Modbus RTU, Modbus TCP, Profibus і ін. Іноді модулі вводу-виводу виділяють в окремий рівень ієрархії.

Другий рівень складається з робочих станцій - комп'ютерів з людино-машинним інтерфейсом (ЛМІ, HMI – Human Machine Interface), найпоширенішими варіантами якого є SCADA -пакети. Диспетчер (оператор) здійснює спостереження за ходом технологічного процесу або управління ним за допомогою мнемосхеми

на екрані монітора комп'ютера. Диспетчерський комп'ютер виконує також архівацію зібраних даних, записує дії оператора, аналізує сигнали системи технічної діагностики, дані аварійної і технологічної сигналізації, сигнали спрацювання пристроїв протиаварійних захистів, а також виконує частину алгоритмів управління технологічним процесом. Права операторів встановлюються засобами обмеження доступу мережевого серверу. Важливою частиною другого рівня є також бази даних реального часу, які є сховищами інформації і засобом обміну з третім рівнем ієрархії системи управління.

4.3. Технічні характеристики та конструктивні особливості основних пристроїв управління судна, системи контролю, сигналізації та внутрішнього зв'язку.

На судні встановлено машинний телеграф. Його прилади служать для безпосереднього управління системою ДАУ, передачі показників про режими ходу судна з командних постів у виконавчі пости, та для отримання відповіді з виконавчих постів.

Енергоустаткування машинного телеграфу живляться перемінним струмом 440В або 220В через трансформатор. Час заспокоєння стрілок приладу не більше ніж за 3 сек.

До складу приладу входять:

- центральний командний прилад;
- бортові командні прилади;
- виконавчий прилад.
- приймач-передавач.

Система може працювати в режимі ДАУ та машинного телеграфу.

Службовий внутрішній зв'язок

При відсутності інших видів парного переговорного зв'язку повинен бути передбачений парний телефонний зв'язок між рулевою рубкою і постами керування головними механізмами, між рулевою рубкою і радіорубкою. При наявності на

судні закритого або відкритого центрального поста керування повинен бути забезпечений парний переговорний зв'язок між ЦПУ і рулевою рубкою.

З цією метою можуть використовуватися незалежні телефонні парні зв'язки, або парний телефонний зв'язок між рулевою рубкою і центральним постом керування з паралельно підключеними і установленими на місцевих постах керування телефонами.

Крім пристроїв зв'язку, вказаних вище, повинна бути передбачена окрема система телефонного зв'язку рулевої рубки з основними службовими приміщеннями і постами. Замість телефонів з цією метою можуть використовуватися двосторонні гучномовні пристрої. Системи службового зв'язку повинні забезпечувати можливість виклику абонента і чітке ведення переговорів в умовах специфічного шуму у містах розташування зв'язку. При установці апаратів службового телефонного зв'язку в приміщеннях з великою інтенсивністю шуму повинні бути прийняті міри для шумозаглушення, або передбачені допоміжні телефонні трубки. Для пристрої зв'язку повинні бути передбачені джерела живлення, які б забезпечували їх роботу при відсутності живлення від загальних джерел живлення. Ушкодження одного апарату не повинно перешкоджати роботі інших апаратів зв'язку. Телефони, які передбачені для переговорів між рулевою рубкою і місцевими постами керування головними механізмами повинні бути обладнані звуковою і світловою сигналізацією.

Авральна сигналізація

Всі судна повинні мати авральну сигналізацію, яка передбачує надійну чутність в усі місцях судна. Система авральної сигналізації повинна живитися від судової мережі, а також від шин аварійного розподільного щита. Звукові пристрої авральної сигналізації повинні мати яскраві, добре видимі відмітні позначення.

Система аварійно попереджувальної сигналізації (АПС)

Система аварійно попереджувальної сигналізації повинна бути незалежною від систем керування і захисних пристроїв. Система АПС повинна одночасно подавати звукові і світлові сигнали. Світлові сигнали повинні показувати причину

спрацьовування АПС і, як правило, повинні бути виконані у режимі мигаючого світла.

4.4. ГМЗСБ і навігація. Технічні характеристики та конструктивні особливості електро-радіо-навігаційних пристроїв та радіозв'язку

Глобальна морська система зв'язку при лиху та забезпечення безпеки мореплавання (ГМЗЛБ), що використовує сучасні системи цифрової та супутникового радіозв'язку. Обладнання системи дозволило на морських судах і берегових радіостанціях перейти на автоматизований спосіб прийому сигналів лиха, підвищити достовірність та оперативність зв'язку.

Відповідно до доповнень 1988 до міжнародної конвенції СОЛАС обладнання для ГМЗСБ має бути впроваджене на судах поетапно в період з 1 лютого 1992 по 31 січня 1999 року. Будь-яке судно, що підпадає під вимоги Конвенції, на якому до 1 лютого 1999 не буде встановлено обладнання ГМЗЛБ, позбавляється Сертифікату Безпеки по радіозв'язку.

Вимоги ГМССБ поширюються на:

всі пасажирські судна і вантажні судна валовою місткістю понад 300 тон, які здійснюють міжнародні рейси;

неконвенційні судна (каботажні, рибальські і т.п.) - за рішенням адміністрації країни реєстрації.

У ГМЗСБ задіюються супутникові та наземні системи зв'язку.

Супутникові системи зв'язку - ІНМАРСАТ і КОСПАС-САРСАТ.

ІНМАРСАТ заснована на використанні геостаціонарних супутників і працює в діапазонах частот 1,5 і 1,6 ГГц. Вона забезпечує оповіщення про лихо, переданому судном, з використанням суднової земної станції (СЗС) або супутникового аварійного радіобуя (АРБ) і можливість двостороннього зв'язку з абонентом;

КОСПАС-САРСАТ заснована на використанні низькоорбітальних супутників на біляполярній орбіті і працююча в діапазоні частот 406,0-406,1 МГц.

Система забезпечує оповіщення про лихо і визначення місця розташування супутникових АРБ, що працюють в даній системі.

Наземні системи зв'язку, що використовують традиційні засоби радіозв'язку, в діапазонах УКХ, ПХ / КХ та СХ діапазонах:

морська рухома служба в смузі частот 156-174 МГц (УКХ діапазон), що забезпечує оповіщення про лихо в режимі цифрового виборчого виклику (ЦИВ) і зв'язок в режимі телефонії на ближніх відстанях;

морська рухома служба в смузі частот 4 - 27,5 МГц (КХ діапазон), що забезпечує оповіщення про лихо в режимі ЦІВ і зв'язок в режимах телефонії і буквопечатання на далеких відстанях;

морська рухома служба в смузі частот 415-535 кГц (СХ-діапазон) та 1605 - 4000 кГц (ПХ діапазон), що забезпечує оповіщення про лихо в режимі ЦІВ і зв'язок в режимах телефонії і буквопечатання на середніх відстанях.

Кожне судно повинно бути обладнане зв'язковий апаратурою відповідно до районом плавання.

Кожне судно незалежно від району плавання повинне бути оснащено: УКВ-радіоустановкою, здатної передавати і приймати:

в режимі ЦІВ на частоті 156,525 МГц (канал 70)

по радіотелефону на частотах 156,3 МГц (канал 6), 156,65 МГц (канал 13) і 156,8 МГц (канал 16)

нести вахту в режимі ЦІВ на каналі 70

Радіолокаційним маяком-відповідачем, що працює в діапазоні 9 ГГц.

Приймачем НАВТЕКС. Якщо район плавання не обслуговується НАВТЕКС, то судно має бути оснащено приймачем РГВ або приймачем ІБМ на КВ.

Аварійним радіобуя АРБ.

Портативними аварійними УКВ радіостанціями.

На кожному судні повинне бути передбачено резервне джерело енергії для живлення радіоустановок, що забезпечують зв'язок у разі виходу з ладу головного та аварійного джерел енергії.

Ємність резервного джерела повинна бути достатньою для одночасної роботи УКХ радіоустановки і, залежно від морського району для якого обладнано судно, або ПХ радіоустановки, або ПХ / КХ радіоустановки, або судновий земної станції ІНМАРСАТ, а також будь-який з додаткових навантажень, підключених до резервного джерела живлення. Якщо в якості резервного джерела енергії використовується акумуляторна батарея, вона повинна мати достатню ємність і повинні бути передбачені засоби для її автоматичної зарядки до мінімально необхідної ємності протягом 10 годин.

Мінімальний склад радіобладнання в залежності від району плавання:

УКХ радіоустановка з ЦІВ

Приймач НАВТЕКС

Радіолокаційний маяк

Аварійний радіо буй

Портативні аварійні радіостанції

УКХ приймач

ПХ радіоустановка з ЦІВ

ПХ/КХ радіоустановка з ЦІВ

Суднова супутникова станція ІНМАРСАТ

УКХ-радіоустановка

УКХ-радіоустановка забезпечує радіотелефонний зв'язок і цифровий виборчий виклик (ЦІВ) на відстані 20-30 морських миль. УКХ радіоустановка консолі Sailor H2192 включає в себе:

- прийомопередавач з антеною, телефонною слухавкою і вбудованим або виносним гучномовцем - RT2048;
- пристрій ЦІВ і спеціальний приймач для несення безперервної вахти на 70 каналі в режимі ЦІВ - RM +2042.

Радіоустановка працює на міжнародних частотах у діапазоні морської рухомої служби 156-174 МГц. Антени радіостанції мають вертикальну поляризацію і кругову діаграму спрямованості.

ПХ радіоустановка

ПХ радіоустановка забезпечує радіотелефонний зв'язок ЦІВ на відстані до 100 морських миль. ПХ радіоустановка повинна:

- передавати і приймати на частоті 2187,5 кГц в режимі ЦІВ і на частоті 2182 кГц в режимі телефонії;
- нести безперервну вахту в режимі ЦІВ на частоті 2187,5 кГц;
- забезпечувати передачу і прийом обшій кореспонденції в режимах радіотелефону або УБПЧ.

Вона містить в собі:

- прийомопередавач з антеною, пультом управління, мікротелефонної слуховкою і вбудованим або виносним гучномовцем;
 - пристрій ЦІВ (вбудоване або окреме);
 - приймач для несення безперервної вахти ЦІВ на частоті лиха 2187,5 кГц.
- Радіоустановка працює на виділених для морської рухомої служби частотах в діапазоні 1605 - 4000 кГц

ПХ / КХ-радіоустановка

ПХ / КХ-радіоустановка забезпечує радіотелефонний зв'язок, вузькосмугове буквопечатання та ЦІВ на великих відстанях. ПХ / КХ радіоустановка повинна:

- передавати і приймати на частотах лиха і безпеки в діапазонах 1605 - 4000 кГц і 4000 - 27500 кГц в режимах ЦІВ, телефонії і УБПЧ;
- нести безперервну вахту з режимі ЦІВ на частотах 2187,5 кГц, 8414,5 кГц і принаймні еще одній частоті лиха і безпеки ЦІВ в діапазоні 4, 6, 12 або 16 МГц;
- забезпечувати передачу і прийом загальної кореспонденції в режимах радіотелефону або УБПЧ в ПВ і КВ діапазонах.

Для консолі Sailor H2192 вона включає в себе:

- приємовозбудитель з антеною, пультом управління, телефонною слухавкою і вбудованим або виносним гучномовцем-RE2100;
- пристрій ЦІВ Телекс - RM2151;

- приймач для несення безперервної вахти ЦІВ на частотах лиха 2187,5 кГц, 4207,5 кГц, 6312 кГц, 8414,5 кГц, 12577 кГц і 16804,5 кГц - RM2150;
- пристрій вузькосмугового буквопечатанія (УБПЧ).

Радіоустановка працює на виділених для морської рухомої служби частотах у діапазоні 1605 - 27500 кГц.

Аварійний радіобуй (АРБ)

АРБ супутникової системи зв'язку КОСПАС / САРСАТ забезпечує передачу повідомлень про лихо через систему супутників на біляполярних орбітах і працює в діапазоні 406 МГц. Даний радіобуй придатний для судів будь-якого району плавання.

Технічні характеристики переданого повідомлення і формат повідомлення відповідають рекомендації 633 МККР. До складу повідомлення входить ідентифікаційний номер, який прошивається в пам'яті радіобуя і вказується у формулярі на виріб. За цим номером проводиться упізнання судна рятувально-координаційним центром та пошуково-рятувальними службами.

Аварійний радіобуй повинен автоматично вмикатися після вільного спливання. Пристрій відділення АРБ повинно забезпечувати його автоматичне відділення від тонучого судна. Механізм відділення повинен спрацьовувати на глибині від 1,5 до 4-х метрів при будь-якої орієнтації судна.

Джерело живлення повинен мати достатню ємність для забезпечення роботи АРБ протягом принаймні 48 годин.

Радіолокаційний маяк-відповідач

Радіолокаційний маяк-відповідач (РЛМВ) забезпечує визначення розташування суден, що терплять лихо, за допомогою передачі сигналів, які на екрані радіолокаційної станції представлені серією точок, розташованих на рівній відстані один від одного в радіальному напрямку. РЛМВ працює в діапазоні 9,2 - 9,5 ГГц.

На кожному борту будь-якого пасажирського судна і вантажного судна валовою місткістю 500 рег. тон і більше повинні матися принаймні два РЛМО. На суднах валової місткості від 300 до 500 рег. тон повинен матися принаймні один РЛМВ. РЛО повинні бути встановлені в таких місцях, звідки вони можуть бути швидко перенесені в рятувальну шлюпку або пліт. Висота встановленої антени відповідача повинна бути принаймні на 1 метр вище рівня моря. При цьому він забезпечує нормальну роботу на відстані не менше 5 морських миль при запиті суднового радара, антена якого встановлена на висоті 15 метрів і не менше 30 морських миль при запиті авіаційного радара з потужністю імпульсу не менше 10 кВт, встановленого на борту літального апарата, що перебуває на висоті 1000м.

Приймач служби НАВТЕКС

НАВТЕКС (навігаційний телекс) - міжнародна автоматизована система передачі навігаційних і метеорологічних попереджень і термінової інформації в режимі вузькосмугового букводрукування. Служба використовує спеціально виділену для цих цілей частоту 518 кГц, на якій берегові станції передають інформацію англійською мовою, розподіливши, щоб уникнути взаємних перешкод, час роботи кожної станції за розкладом. НАВТЕКС є компонентом Всесвітньої служби навігаційних попереджень, прийнятої Резолюцією Асамблеї А.419 (XI), і входить до складу ГМЗСБ.

Однією з характерних особливостей розвитку сучасного морського флоту є підвищення швидкості судна. Це створило перед навігаційним обладнанням складну задачу – забезпечити безпеку мореплавання суден. У рішенні цієї задачі важливе місце займає створення гірокомпасів, які могли б при високій швидкості і відповідно кращій маневреності суден, видавати справжній курс з високою точністю. На судні встановлено два гірокомпаси типу ANSHUTZ St.4 DHI-02G та ТОКИМЕС TG-3000, а також магнітний компас John Lilley & Gillie Type SR.2, для забезпечення утримання курсу судна. На крилах містка встановлено по одному репітеру для пеленгування. Репітери встановлено також і в навігаційній рубці, та

рульовий. Живлення гірокомпаса здійснюється трифазним струмом через понижувальний трансформатор 440/115В.

Лаг – це прилад необхідний для вимірювання швидкості ходу судна. Принцип роботи сучасних приладів побудований на вимірюванні напору води або гідролокації морського дна. Найбільш розповсюджений лаг представляє собою вертушку, яка крутиться під напором води. Число оборотів вертушки за одиницю часу визначається за допомогою електронного або механічного приладу. Зазвичай вертушка кріпиться на корпусі судна, але на малих суднах використовують портативний варіант лагу, в якому вертушка викидається за корму на тросі, а замірювальний механізм знаходиться в руках у матроса. На судні встановлено гідродинамічний лаг типу Doppler Speed Log FURUNO DS-70, призначений для вимірювання швидкості судна та пройденої відстані.

Показчики швидкості встановлено у машинному відділенні. Показчики швидкості та пройденої відстані встановлено також і в навігаційній рубці. Схема лагу отримує живлення від щита навігаційних приладів напругою 220В перемінного струму.

Ехолот – це прилад, необхідний для вимірювання глибини, розпізнання рельєфу дна. Для проведення аналізу підводних просторів ехолоти використовують датчики, які посиляють ультразвукові хвилі за допомогою одного або декількох промінів та приймають віддзеркалені сигнали назад. На основі даних про час проходження цих хвиль і виводяться дані о глибині, рельєфі і структурі дна, наявності різного роду перешкод на шляху промінів, які пізніше ідентифікуються – риба, підводні каміння і т.д. На судні встановлено ехолот типу ELAC NAUTIC LAZ-5000, призначений для вимірювання глибини. До складу цієї системи входить кольоровий TFT Дисплей, який дає змогу постійного наочного моніторингу. Вібратор-випромінювач та приймач встановлені в шахті лагу. Самописець та показчик глибини встановлено у стерновій рубці. Схема отримує живлення від щита навігаційних приладів напругою 220В перемінного струму.

Для забезпечення безпеки плавання судна у відкритому морі, у вузкостях, в умовах поганої погоди чи видимості на судні встановлено сучасні антени AIS

TRANSPONDER SAAB R4-AIS. Приймально-передаючий пристрій знаходиться в приміщенні високочастотних блоків. Індикатори відносного руху встановлено в навігаційній рубці. Живлення AIS здійснюється від суднової мережі трифазного струму 220В, через перетворювач АТ-04-400-51, який знаходиться в приміщенні агрегатної радіозв'язку.

У таблиці 4.1 приведено перелік радіонавігаційного обладнання.

Таблиця 4.1 – Перелік радіонавігаційного обладнання

No.	Найменування	Кількість	Виробник	Модель
1	PA System	1	Right Sound	DGRS-800/C
2	Internal Telephone System	1	Panasonic	KX-TD500
3	GMDSS Inmarsat-C	2	Sailor	H2095C
4	GMDSS Printers for Inm-C	2	Sailor	H1252B
5	GMDSS MF/HF RTF/DSC	1	Sailor	HC4500B
6	GMDSS VHF RTF/DSC	2	Sailor	RT4822
7	GMDSS Alarm Panel	1	Sailor	AP4365
8	GMDSS Battery	2	EAS	Type 66015 12V 160 Ah.
9	GMDSS AC Power Supply Console	1	Sailor	PS 4655
10	GMDSS Portable VHF Tranceivers for Survival Craft	3	ICOM	IC-GM 1500E
11	GMDSS Aeronautical	1	ICOM	IC-A22E
12	EPIRB	1	KANNAD	406 SV
13	EPIRB	1	KANNAD	406 GPS
14	SART	2	McMurdo	RT9-3
15	Ship Security Alert System	1	Sky Wave	DMR-200C
16	IRIDIUM	1	Nal Research Corp.	A3LA-X

17	Voyage Data Recorder	1	Rutter	VDR-100
18	AIS TRANSPONDER	1	SAAB	R4-AIS
19	Radar X-Band	1	JRC	JMA-9922-6XA
20	Radar S-Band	1	Sperry Marine	Bridge Master
21	GPS	1	SIMRAD	GN 33
22	GPS	1	SIMRAD	GN 30
23	Girocompass	1	ANSHUTZ	St.4 DHI-02G
24	Girocompass	1	TOKIMEC	TG-3000
25	Magnetic Compass	1	John Lilley & Gillie	Type SR.2
26	Magnetic Compass (spare)	1	John Lilley & Gillie	Type SR.2
27	Magnetic Compass for LifeBoat	6	ZHANHUI	CPT 4-100
28	Magnetic Compass for LifeBoat	1	EEC	13-16
29	Magnetic Compass for LifeBoat	2	SESTREL	
30	Magnetic Compass for LifeBoat	1	RIVIERE - GENOVA - URANIA	
31	BNWAS	1	FURUNO	BR-500
32	LRIT	1	Sailor	TT-3020C
33	Echosounder	1	ELAC NAUTIC	LAZ-5000
34	Doppler Speed Log	1	FURUNO	DS-70
35	NAVTEX	1	JRC	NCR-330
36	VHF RTF	1	Sailor	RT2048
37	Weather Facsimile Receiver	1	FURUNO	FAX-208 A/N
38	Digital El. Anemometer	1	WALKERS	7070

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Вживання при нестачі води і їжі. Організація життя на рятувальному засобі

Організація життя на рятувальному засобі. При плаванні у морі може виникнути така аварійна ситуація, коли екіпаж вимушений покинути судно. Цьому передують боротьба екіпажу за його живучість і вживання усіх заходів з порятунку пасажирів, судна і вантажу.

Екіпаж у рятувальному засобі повинен беззаперечно виконувати вимоги свого командира і дотримуватись інструкції по збереженню життя. Такі інструкції на кожній рятувальній шлюпці зберігаються в спеціально позначених місцях. Вони містять вичерпні відомості з надання допомоги потерпілим, організації життя на рятувальному засобі, використанню запасів їжі і питної води, застосуванню засобів зв'язку із зовнішнім світом і так далі.

Знаходячись на рятувальному засобі, потрібно пам'ятати наступне:

- усі мають бути одягнені в рятувальні жилети або нагрудники;
- не можна купатися і опускати у воду ноги і руки, щоб не постраждати від акул і не витратити життєву енергію;
- при сильному хитанні і вітрі потрібно рівномірно розміщуватися в рятувальному засобі, не скупчуючись на одному борту;
- піротехнічні засоби потрібно запалювати за бортом плоту, над водою, з підвітряного боку, щоб не пропалити пліт;
- сонячні промені, відбиваючись від поверхні води, можуть представляти небезпеку навіть в хмарні дні;
- слід виключити паління: воно викликає спрагу у тих, що палять (а запаси води обмежені) і роздратування у некурящих, а також необхідність в зайвому провітрюванні, що знижує температуру усередині рятувального засобу. Крім того, паління небезпечне в пожежному відношенні;
- при морській хворобі не слід їсти і пити, краще всього лежати, міняючи положення голови, і дивитися в далечінь.

Черговими на рятувальному засобі повинен вестися журнал, в який заносяться дані про стан здоров'я людей, що знаходяться в плавзасобі, про запаси води і продовольства, а також важливі спостереження, події і рішення, що приймаються.

Виживання при нестачі їжі та води. Людина може тривалий час обходитися без їжі при збереженні нормальної фізичної та психічної активності.

В умовах голодування включаються захисні реакції, знижують інтенсивність обміну речовин, а для поповнення енергії організм людини починає витрачати свої внутрішні резерви. Добові енерговитрати людини, що знаходиться в стані спокою, складають приблизно 7500 кДж.

В першу чергу витрачається жирова клітковина, потім м'язова тканина, тканина внутрішніх органів, при цьому головний мозок, серце та легені залишаються в недоторканності, що забезпечує нормальну серцево-дихальну і розумову діяльність.

Якщо людину забезпечити денним раціоном харчування, калорійність якого становить 2000 кДж, то він зберігає фізичну і розумову працездатність протягом двох тижнів і більше. Згідно з вимогами Міжнародної Конвенції СОЛАС-74 на рятувальному засобі повинен бути запас продуктів калорійністю не менше 10 000 кДж на кожну людину.

Людський організм на 65% складається з води, втрата їм 10% вологи викликає глибокі незворотні зміни і може призвести до загибелі. При зневодненні організму починається процес загустіння крові, порушується сольовий баланс і обмін речовин, підвищується перегрів. Найбільшу небезпеку для людини представляє перегрів, так як при цьому сильно зростають втрати води.

При збільшенні втрат води людина починає відчувати спрагу, яка переноситься значно важче, ніж почуття голоду. При знаходженні на рятувальному засобі суб'єктивне відчуття спраги посилюється - додатковим подразником служить морська вода.

Межею виживання людини при відсутності їжі в нормальних умовах є період 50-70 доби.

Здатність людини до виживання підвищується при щоденному прийомі 60-70 г легко засвоюваних вуглеводів (цукру, вітамінізованих цукерок), які сприяють затримці білків в організмі.

Межею виживання людини без води в нормальних умовах є період 14 діб, який при високій температурі навколишнього повітря може різко скоротитися.

Для виживання людини достатньо 0,5 л води на добу.

5.2 Використання запобіжних пристроїв обладнання і безпечних систем управління на робочих місцях.

У зв'язку з технічним удосконаленням судів поступово змінюється характер праці моряків. У нових умовах для виконання найбільш важких і трудомістких робіт і процесів обслуговування використовують механізми та системи автоматики.

Запобіжні пристрої обладнання служать для обмеження виходу заданих безпечних параметрів цього обладнання за межі допустимих значень. Такими параметрами можуть бути статичні і динамічні навантаження, величина пересування механізму, рівень рідини, швидкість руху, тиску пари, газу, води і т.д. Запобіжні пристрої спрацьовують автоматично, відключаючи джерело контролюваного параметру або створюють умови для ослаблення його впливу.

Запобіжниками від механічних перевантажень служать зрізні шпильки і штифти, пружинно-кулачкові, фрикційні і зубчато-фрикційні муфти, відцентрові, пневматичні та електричні регулятори.

Дизелі, парові і газові турбіни постачають регуляторами частоти обертання, в основному відцентрового типу. Для запобігання небезпечного для машини та обслуговуючого персоналу підвищення частоти обертання колінчастого валу за допомогою обмеження подачі палива або пари служить регулятор.

Кінцеві вимикачі необхідні для попередження поломок устаткування, що виникають при переході рухомих частин за встановлені межі, обмеження переміщення супорта на металорізальних верстатах, для шляху руху вантажу у вертикальній і горизонтальній площинах при роботі вантажопідіймальних механізмів і т. д.

Блокуванням називають сукупність методів і засобів, що забезпечують фіксацію частин машин або елементів електричних схем в певному стані, який зберігається незалежно від наявності або припинення впливу.

До пристроїв сигналізації відносять: амперметри, вольтметри, манометри, термометри, тахометри, показники рівня рідини (водомірне скло або поплавкові рівнеміри) та ін.

Дистанційне керування призначене для керування технологічними процесами або виробничим обладнанням з робочих місць, розташованих за межами небезпечної зони.

Для циркуляційного насоса заборотної води, який знаходиться в насосному відділенні, передбачено захисне огородження, яке не дасть можливість людині підійти до приводу насоса в момент роботи двигуна. Також передбачено захисне заземлення корпусу електродвигуна у випадку порушення ізоляції струмоведучих

частин. Власне електродвигун має автоматичний вимикач, який захищає його від коротких замикань в силових колах, та теплове реле від перевантажень. Місцевий пульт управління з кнопками «Стоп» та «Пуск», який має металевий корпус, теж заземляється.

5.3 Правила техніки безпеки при вантажних операціях на контейнеровозах.

Під вантажними операціями розуміються операції по навантаженню судна, розвантаження з суден вантажів, доставлених в порт, надісланих із порту у відповідності з договором морського перевезення

Організація безпеки праці і керівництво вантажно-розвантажувальними операціями покладається на судні на одного з помічників капітана (зазвичай другого). У своїй роботі він повинен керуватися ПТБ на суднах морського флоту, ПТБ в морських портах; при роботі з небезпечними вантажами — також Правилами морського перевезення небезпечних вантажів (МОПОГ).

Перш ніж приступити до вантажних операцій, керівник робіт повинен переконатися в справності вантажопідйомних пристроїв, пристосувань і такелажу, розставити по робочим місцям добре проінструктований і навчений персонал, визначити необхідну кількість стропальників та сигнальників. В процесі роботи необхідно звертати особливу увагу на неприпустимість перевантаження стріл, кранів та інших вантажопідйомних пристроїв; на правильність обв'язування і кріплення вантажів; на дотримання працюючими правил техніки безпеки і застосування ними захисних та запобіжних засобів.

В районі виробництва робіт палубу необхідно звільнити від предметів, які можуть заважати виконанню робіт і відкриванню люків, у нічний час забезпечити відповідне освітлення і тільки після цього відкрити люкові закриття вантажних трюмів. При відкриванні та закриванні люків члени екіпажу повинні перебувати від них, а також від канатів та люків на безпечній відстані.

Розгортання і розкантовку вантажу на вазі слід проводити тільки за допомогою багрів і відтяжок відповідної довжини після зупинки вантажу і розташування його не вище 1м від місця укладання. Забороняється розгойдувати вантаж для його укладання поза радіусом дії стріли, зупиняти розгойдується вантаж руками, а також поправляти стропа на вазі. При горизонтальному переміщенні вантаж можна проносити на висоті не менше 0,5 м від конструкцій судна або зустрічаються на шляху предметів. Вантаж у трюмах потрібно вибирати так, щоб виключалася можливість падіння окремих його частин або штабеля.

Роботи по вивантаженню і навантаженню великовагових вантажів з допомогою суднових засобів повинні проводитись під безпосереднім керівництвом капітана або старшого помічника, в суворій відповідності з пп. 2.7.28—2.7.37 ПТБ-85. Допускаються до роботи на великовагових вантажних стрілах спеціально підготовлені для цього члени екіпажу, оголошені наказом по судну після здачі іспиту.

Після закінчення вантажних операцій всі механізми повинні бути вимкнені, а важелі управління поставлені на стопори. Забороняється залишати в підвішеному стані вантаж, грейфери та інші вантажозахватні пристосування.

При перевезенні палубних вантажів необхідно приймати додаткові заходи безпеки. Під час укладання вантажів слід передбачити безпечні проходи для екіпажу і вільний прохід до небезпечних вантажів, засобів пожежогасіння, розташованим на палубі, а також до трапів, шлюпок і лебедкам.

Всі палубні вантажі повинні бути надійно закріплені канатами, пропущеними крізь спеціально призначені для цього рими й обухи, і обтягнуті талрепа або спеціальними захватними важелями. Для запобігання зсуву вантажу рекомендується встановлювати спеціальні упори. Не дозволяється кріпити палубний вантаж, в тому числі техніку та контейнери, сталевими жорсткими і рослинними канатами, дротом, а також застосовувати закрутки замість талрепа або захватних важелів. Найтови слід заводити таким чином, щоб була можливість безпечної та швидкої їх віддачі. При отриманні несприятливого прогнозу погоди, посилення вітру чи хвилі треба провести позачерговий огляд стану кріплення палубного вантажу і при необхідності підсилити кріплення.

При укладанні палубного вантажу по всій площі палуби повинні бути встановлені безпечні огорожі, переходи, пристрій яких покладається на адміністрацію порту.

При перевезенні контейнерів найбільш підготовлені члени екіпажу судна зобов'язані регулярно перевіряти стан кріплень контейнерів. Підніматися під час ходу судна на верхній ярус контейнерів можна тільки у разі крайньої необхідності з дозволу капітана і за умови хорошої погоди.

На обмерзлі контейнери підніматися не дозволяється.

Підніматися на дахи контейнерів або спускатися з них потрібно по стаціонарних суднових конструкціях або пристроях, спеціально призначених для безпечного переходу з них на будь-який ярус контейнерів. Для доступу на перший

ярус контейнерів дозволяється застосовувати переносні трапи, що мають протиковзкі башмаки і пристрої для кріплення до контейнерів.

Всі роботи, що проводяться на контейнерах, розглядаються як роботи, що виконуються на висоті, з дотриманням відповідних заходів безпеки.

5.4 Аварійний пост машинного відділення. Засоби гасіння пожежі в машинному відділенні.

Машинне відділення - найбільш важливий для життєзабезпечення судна відсік, через що фактор часу для прийняття першочергових активних дій по локалізації місця горіння тут набуває виняткового значення. Головним завданням першочергових дій є: локалізувати або хоча б стримати розвиток горіння до задіяння основних сил і засобів боротьби з пожежею.

Першочергові дії. Повідомивши на місток вахтовому помічнику про пожежу, машинна вахта зобов'язана негайно задіяти первинні засоби пожежогасіння. Наприклад, вуглекислотні та порошкові вогнегасники і установки використовуються, якщо в осередку горіння знаходяться електричні пристрої під напругою.

У міру накопичення сил, зі збільшенням кількості задіяних первинних засобів, готуються і вводяться пінні стволи системи піногасіння.

При знаходженні в зоні горіння механізмів їх необхідно зупинити, перекрити подачу палива.

Електрообладнання аварійної ділянки необхідно відключити, крім освітлення, якщо воно не підсилює горіння.

Активний спосіб гасіння. Прямий вплив вогнегасних засобів на осередок горіння при правильному виборі місця їх подачі та забезпеченні необхідної інтенсивності, здатна в короткий час і з найменшими втратами локалізувати, а потім і ліквідувати горіння. Для цього необхідно дотримуватися наступних рекомендацій:

- Введення вогнегасних засобів слід починати з найближчого місця фронту полум'я, а при горінні на вертикальних або похилих поверхнях подачу струменів води або піни подавати на верхні ділянки для того, щоб, стікаючи вниз, вони гасили або охолоджували ці поверхні;

- Після задіяння достатньої кількості стовбурів і наявності резерву, рекомендується розглянути питання про вентиляцію машинного відділення;

- Якщо пожежа виникла в тому відсіку машинного відділення, де розміщені основні насоси водопожежної системи, роботу яких довелося припинити, необхідно нормувати навантаження аварійного насоса, не допускаючи його вище технічних можливостей насоса.

Об'ємне пожежогасіння. Для успішного гасіння цим способом необхідно дотримуватися наступних рекомендацій:

- Зупинити шляхом перекриття подачі палива та знеструмлення електроживлення роботу всіх механізмів у відсіку машинного відділення.

- Вивести людей з аварійного відсіку;

- Провести герметизацію приміщення;

- Провести пуск вогнегасного агента в кількості, зазначеній на станції.

У процесі подачі вогнегасного агента вести спостереження по периметру аварійного відсіку і по вихідному диму встановити місця наявних нещільностей і вжити заходів щодо їх усунення.

На час витримки (не менше 2-х годин) встановити температурний контроль за прогріванням переборок і палуб. При виявленні значного прогріву слід організувати охолодження цих місць.

Може бути організована розвідка в аварійне приміщення шляхом направлення туди не менше 2-х членів аварійної партії. Вони повинні бути в спорядженні пожежного і обов'язково в автономних дихальних апаратах зі страхувальними тросами і засобами освітлення.

По закінченні необхідної витримки або з отриманням розвідувальних даних про відсутність горіння, машинне відділення слід провентилувати.

5.5 Розробка системи знезараження та очищення стічних вод на судні.

Розвиток флоту, поява великих пасажирських суден стало передумовою для розвитку суднової стічної системи. Цьому сприяли заборони на скидання відпрацьованих СВ в зонах санітарної охорони – ділянках, розташованих у районах міських водозаборів централізованого водопостачання, акваторії портів, районах пляжів та ін. На судах почали встановлювати збірні цистерни, обсяг яких був достатній для збору утворюються стічних вод протягом часу проходження закритих зон і стоянки в портах.

Санітарними правилами для суден внутрішнього плавання заборонено скидання у внутрішні водні об'єкти необроблених стічних і господарчо-побутових вод. Розроблена технологія передачі стічних вод (СВ) з суден на берег за

допомогою суден-збирачів і спеціалізованих берегових причалів, сполучених колекторами з береговими очисними спорудами.

Очищення судових СВ виконують фізичними, хімічними або біохімічними методами.

Фізичні:

- відстоювання і фільтрування.

Хімічні:

- хімічна коагуляція використовується в поєднанні з фізичними методами.

У СВ вводять коагулянти – солі алюмінію, заліза або їх суміші, найбільше поширення отримав сульфат алюмінію.

Процес коагуляції включає два етапи:

- швидке перемішування частинок забруднювачів з коагулянтами;
- при повільному перемішуванні СВ, обробленої коагулянтом, відбувається формування пластівців. Флокулянти прискорюють процес формування пластівців, наприклад, поліакриламід;

- електрохімічний метод – при розміщенні електродів у СВ частинки забруднень будуть прилипати до бульбашок водню і спливати, утворюючи пінний шар.

Біохімічний спосіб очищення СВ від органічних забруднень заснований на біохімічних процесах, що супроводжують життєдіяльність певного набору мікроорганізмів – біомаси. Часто біомасу називають активним мулом. В активному мулі містяться різні групи бактерій, цвілеві та дріжджові гриби, а також найпростіші коловертки, черв'яки. Для підтримки необхідної життєдіяльності мікроорганізмів у СВ вводять кисень повітря. Біохімічні процеси у такому випадку називають аеробами.

Етапи біохімічного методу очищення СВ:

- біохімічне окислення легкоокислюваних органічних речовин до CO_2 і води; в СВ органічні речовини перебувають у вигляді білків, жирів і вуглеводів;
- синтез клітинної речовини активного мулу з решти органічних речовин СВ. Мікроби засвоюють не тільки органічні речовини, що надходять зі СВ, але і відмерлі мікроорганізми (органічна частина), тобто відбувається мінералізація органічної частини самого активного мулу.

Таким чином, мікроорганізми активного мулу, як і будь-які інші живі істоти, що зароджуються, розвиваються, існують певний період і потім відмирають. Час перебування активного мулу в аеротенках суворо регламентована і залежить від

концентрації органічних забруднювачів в СВ, температури, витрати повітря, інгібіторів і токсикантів їх життєдіяльності. При сприятливих умовах цей час становить близько 50 годин.

Розвиток активного мулу йде з більш високою швидкістю, ніж його відмирання. Надлишковий мул треба періодично видаляти з установки в судову шламову цистерну. Кількість накопичується активного мулу зазвичай становить 1-2% обсягу очищених СВ.

Знезараження судових стічних вод.

Хлорування – при взаємодії хлору з водою утворюється хлорноватиста кислота (HClO). Бактерицидна дія хлору є результатом хімічної реакції між « HClO » і бактеріальної клітинної структурою, внаслідок чого паралізуються клітинні життєві процеси і бактерії гинуть.

Зазвичай на руйнування бактеріальних клітин витрачається лише деяка частина введеного в воду хлору, а велика – на реакції з різними домішками, що знаходяться в очищеній СВ. Дозу хлору, необхідну для знезараження води, у зв'язку зі складною залежністю хлорпоглинання від деяких факторів визначають виходячи з величини залишкового хлору у СВ. При залишковому хлорі більше 0,3 мг/дм³ після 30-хвилинного контакту знезараження задовільний.

Рекомендована доза хлору для знезараження стічних вод 8-15 мг/дм³ при часі контакту 20-30 хвилин.

Для судових умов найбільш прийнятним вважають гіпохлорит натрію (NaOCl) і гіпохлорит кальцію (CaOCl), менш надійне хлорне вапно.

Оптимальним при знезараженні прийнято враховувати вибір необхідної дози знезаражуючого агента, а також шляхом контролю за вмістом залишкового хлору в очищеній воді.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі розглянуто електроенергетичну систему контейнеровоза місткістю 6572 контейнера з можливістю підключення 500 рефрижераторних контейнерів. Розрахунок суднової електроенергетичної станції виконувався табличним методом, оскільки він надає повну інформацію про споживачів електроенергії в конкретному режимі роботи судна. Враховуючи велику сумарну потужність, СЕЕС спроектовано на напругу 6600 V. Відповідно, проаналізовано роботу високовольтного 6-рівневого перетворювача частоти, підключеного до підрулюючого пристрою потужністю 2000 kW. Показано, що використання багаторівневого перетворювача надає змогу покращити якість напруги та струмів на обкладинках двигуна, а також підвищити надійність системи за рахунок можливості вимкнення пошкоджених Н-модулів у фазах зі збереженням працездатності електропривода в цілому. Розроблено модель та виконано аналіз динамічних режимів електроприводу, проведено порівняння двох методів широтно-імпульсної модуляції. Показано, що ШІМ з додаванням 3-ї гармоніки підвищує напругу першої гармоніки на 16 %. Це надає можливість скоротити тривалість перехідних процесів пуску та гальмування на 0.2 s, тобто на 13...20 %. Це також дозволяє зберегти працездатність електропривода навіть при пошкодженні двох Н-комірок у кожній фазі.

Проаналізовано енергетичну ефективність системи утилізації тепла головного двигуна типу MAN B&W. Показано, що при встановленні цієї системи при повному навантаженні ГД можна отримати додаткову потужність, еквівалентну двом дизель-генераторам, а при 50 % навантаження ГД – одного дизель-генератора.

На протязі виконання роботи велику увагу приділено вивченню нормативних документів, таких як Регістр Морського Судноплавства та Правил Технічної Експлуатації як електрообладнання зокрема, так і всього суднового устаткування в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Глазева, О.В. Применение высоковольтных преобразователей частоты как метод повышения индекса энергоэффективности на объектах морской индустрии [Текст] / О.В. Глазева, В.Б. Власов // Матеріали науково-методичної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.12.2018 - 06.12.2018. – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – С.70-78
2. Кузькин В.И., Мелешкин В.Н., Мясищев С.В., Симоненков Д.В., Шипаева С.Н. Высоковольтный преобразователь частоты для питания асинхронных двигателей. «Электротехника», 2004 г., №10, с. 19 – 24.
3. Бурдасов, Б.К. Преобразователи частоты для высоковольтных электроприводов переменного тока [электронный ресурс] / Б. К. Бурдасов, С.А. Нестеров, Ю.Б. Федотов // Электронный научный журнал APRIORI. Серия: естественные и технические науки. – 2015. – № 4.
4. M. Malinowski, K. Gopakumar, J. Rodriguez, and M. Perez, “A Survey on Cascaded Multilevel Inverters”, IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 1, No. 1 December 2009.
5. B. P. McGrath and D.G.Holmes, “Multicarrier PWM Strategies for Multilevel Inverters,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 49, No. 4, August 2002.
6. Grahame, D. Pulse width modulation for power converters. Principles and practice / D. Grahame Holmes, Thomas A. Lipo. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003. – 724 p.
7. Высоковольтные преобразователи частоты серии N5000 // http://www.tekhar.com/Programma/HYUNDAI/index_V_V_invert.html
8. Преобразователи частоты VEDADRIVE 315–25000 кВА // www.danfoss.ru/VLT
9. PowerFlex 6000 Medium Voltage Variable Frequency Drive Firmware, Parameters, and Troubleshooting Manual Catalog Number 6000G // Publication 6000-TD004E-EN-P - September 2019. <http://www.rockwellautomation.com/support>.

10. Высоковольтные преобразователи частоты Robicon PERFECT HARMONY 225 кВт–120 МВт // www.siemens.com/robicon-perfect-harmony
11. Бушер, В.В. Дослідження високовольтних перетворювачів частоти в суднових електроенергетичних системах [Текст] / В.В. Бушер, О.В. Глазева, К.О. Морозов, Космас Здрозис // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», 05.11.2019 - 06.11.2019. – Одеса: НУ «ОМА», 2020. – С.231-237
12. S. Krishnapriya and Unnikrishnan L. ,“Multilevel Inverter Fed Induction Motor Drives”, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET), Volume 04, Issue 09, September2015, pp. 60-64.
13. Колпаков, А. Алгоритмы управления многоуровневыми преобразователями / А. Колпаков, Е. Карташев // Силовая электроника. – 2009. – № 2 – стр. 57-65
14. V. Manimala, Mrs.N. Geetha.M.E, Dr.P. Renuga, Design and Simulation of Five Level Cascaded Inverter using Multilevel Sinusoidal Pulse Width Modulation Strategies, IEEE 2011, 978-1-4244-8679-3
15. Москаленко В.В. Электрический привод: учебник для студ. высших учеб. заведений/ В.В. Москаленко. - М.: Издательский центр «Академия», 2007.- 368с.
16. Осипов О.И. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод: Учебное пособие по курсу «Типовые решения и техника современного электропривода» - М.: Издательство МЭИ, 2004.- 80с.
17. Теория электропривода, ч.1: учебное пособие/Сост.: А.Б. Зеленов – Алчевск, Дон ГТУ, 2005. – 382 с.
18. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для студентов ВУЗов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" и по специальности "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов" - М.: Энергоатомиздат, 2001.
19. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода: Учебник для вузов.-
20. Санкт-Петербургское отделение, 1994.- 496с.: ил.

21. Локарев В.И. Судовые автоматизированные электроприводы: Учеб. пособие. - Николаев: УГМТУ, 2002. - 160с.
22. Иванов В.И. и др. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник/ В.И.Иванов, А.И.Аксёнов, А.М.Юшин-2-е изд., переработанное и дополненное.-М.:Энергоатомиздат,1988.-448с.: ил.
23. Усатенко С.Т., Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник. - М.: Издательство стандартов, 1989. - 325с.
24. Власенко А.А., Стражмейстер В.П., Судовая электроавтоматика. - М.: Транспорт. 1983. - 367с.
25. Правила Регистра Украины для морских и речных судов. Киев: 2003.
26. Правила технической эксплуатации судовых технических средств. - М.: В/О Мортехинформреклама, 1984. - 388с.
27. Правила техники безопасности на судах морского флота. РД31.81.10-75. - М «Мортехинформреклама», 2004.- 300с.
28. Піпченко О.М. Розрахунок суднових електроенергетичних систем. - М.: Мортехінформреклама, 1988 - 39 с.
29. Яковлев Г.С. Суднові електроенергетичні системи,- Л.; Суднобудування, 1987.- 272 с.
30. Толстов А.А. Устройство и эксплуатация судовых синхронных генераторов: Учеб. пособие.- Одеська нац. Морська академія. – Одеса, 2006.
31. Толстов А.А. Автоматические выключатели: Учеб. пособие.- Одеська нац. Морська академія. – Одеса, 2012.
32. Воскобович Ю. В. и др. Электроэнергетические установки и силовая электроника транспортных судов. – СПб: Элмор, 2001.
33. Іванов Б.Н., Колегаєв М.А., Касилов Ю.И., Іванов А.И. Основы охраны труда на морском транспорте – Одесса: Компас, 2003.
34. Колегаєв М.О., Іванов Б.М., Басанець М.Г. Під редакцією В.В. Пономаренка. Безпека життєдіяльності і виживання на морі. Навч. посібн. Друге видання – перероблене та доповнене./ Одеська нац. Морська академія. – Одеса, 2008. – 416 с.

35. Технічна документація та інструкції по експлуатації судна MSC FRANCESCA.
36. Интернет ресурс, сайты: www.mitsubishiautomation.ru, www.deif.com, www.selko.com, www.abb.com, www.hyundai.com
37. MARPOL. Book III, revised Appendix VI of MARPOL “Rules for the Prevention of Air Pollution from Ships”. “CMRI” Publishing House.2012.
38. Control of greenhouse gas emissions from ships engaged in international trade / Fifteenth conference of the parties Cop 15 7 to 18 December 2009 / Copenhagen, Denmark // Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/imo_awg-lca_8_submission.pdf
39. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 - Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines. Printed and published by the International Maritime Organization, London, January 2016 / Available at: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/IMO-Train-the-Trainer-Course.aspx>
40. Annex 8 Resolution MEPC.212(63) Adopted on 2 March 2012 / 2012 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships / Available at: <http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-%28MEPC%29/Documents/MEPC.212%2863%29.pdf>
41. 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships, as amended (resolution mepc.245(66), as amended by resolutions MEPC.263(68) and MEPC.281(70)) /MEPC.1/Circ.866 30 January 2017 / Available at: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/MEPC%201CIRC%20866%20%28E%29.pdf>
42. Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI / Available at: Waste Heat Recovery System (WHRS) (mandieselturbo.com)

43. Sheludchenko V.I., Kravtsov V.V., Volkova O.G. Tehnicheskaya termodinamika: ucheb.posob.[The basics of fluid mechanics: A tutorial]. Sevastopol.Veber. [“Veber” Publishing House]. 2002. 326 p. [In Russian]
44. Pounder’s Marine Diesel Engines and gas Turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheller Road, Burlington, VF 01803./ Available at: https://www.academia.edu/35393741/Pounders_Marine_Diesel_Engines_and_Gas_Turbines_Eighth_edition_i
45. MAN Energy Solution. Available at: https://marine.man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/printed/S90ME-C9_2.pdf
46. Tehnico-ekonomicheskie harakterisyiki sudov morskogo flota. RD 31.01.011-90 [Technical and economic characteristics of the vessels ships] Moscow. Morteinformreklama. [“Morteinformreklama” Publishing House]. 1992. 232 p. Available at: <http://gostrf.com/normadata/1/4293827/4293827275.pdf>
47. MAN Energy Solution. CEAS Engine Calculation MAN B&W Available at: <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/ceas-engine-calculations>
48. Конструктивна загибель контейнеровозу «X-Press Pearl» Available at: <https://seanews.ru/2021/05/26>