

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
Навчально – науковий інститут автоматики та електромеханіки

Кафедра електричної інженерії та електроніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА
на тему:

**ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ, ЕЛЕКТРОННА АПАРАТУРА ТА СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗА МІСТКІСТЮ 13092 КОНТЕЙНЕРІВ**

Виконав: студент 5 курсу
спеціальність 271

«Річковий та морський транспорт»

Спеціалізація: «Експлуатація суднового
електрообладнання і засобів автоматики

Васильченко Б. О.

Допущений до захисту 15.12.2021

(дата малого захисту)

Завідувач кафедри ЕМ і ЕТ

Н.Й. Муха проф. Н.Й. Муха

Керівник В.В. Бушер проф. Бушер В. В..

Нормоконтроль С.Ф. Самонов доц. Самонов С.Ф.

Рецензент В.В. Бушер

м. Одеса – 2021 рік

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. кафедри ЕІ та Е

 М. Й. Муха
« 01 » 11 2021 р.**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу бакалавра

Васильченко Богдан Олександрович

Тема бакалаврської роботи:

1. «Електрообладнання, електронна апаратура і системи управління контейнеровоза місткістю 13 092 контейнера» затверджена наказом ректора академії від «08» 11 2021 р. № 1694
2. Термін здачі курсантом закінченої роботи до 18.12.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: технічна документація судна – контейнеровоза місткістю 13 092 контейнера.
4. Змістовна частина розділів дипломної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямом підготовки 271 «Річковий та морський транспорт» як визначено нижче:
 - 4.1. Техніко-експлуатаційні характеристики та конструктивні особливості судна:
 - опис корпусу судна та рушія, головної енергетичної установки, допоміжного комплексу, допоміжних механізмів і систем;
 - обґрунтування основних параметрів СЕЕС та вибір її типу.

- розрахунок потужності та вибір електродвигуна одного з електроприводів суднових механізмів;
- обґрунтування і вибір схеми живлення та управління електроприводом;
- вибір комутаційно-захисної апаратури та засобів електромагнітної сумісності електроприводу із СЕЕС;
- 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 та фідерів, що відходять від 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;

- 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;

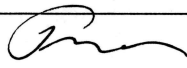
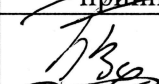
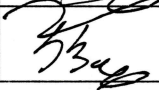
- однолінійна схема ГРЩ і АРЩ;

- система збудження СГ;

- структурна або функціональна схема АСУ СЕЕС, алгоритм управління;

- принципова або структурна схема системи управління технічного об'єкту, граф-схема алгоритму функціонування.

5. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис і дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Безпека та виживання на морі	/ кафедра БЖ		
Охоронні заходи та цивільна оборона на судні	/ кафедра МТ		

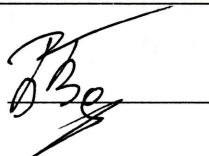
Дата видачі завдання: 16.09.2021 р.

Керівник



Бушер В. В.

Завдання прийняв до виконання

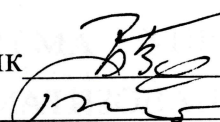


Васильченко Б. О

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання	Примітки
1	Розрахунок режимів роботи електропривода підрулюючого пристрою. Вибір двигуна. Перевірка двигуна за нагрівом. Розрахунок статичних та динамічних характеристик приводу. Спосіб пуску двигуна.	16.10 – 20.10.2021	
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.	21.10 – 04.11.2021	
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.	05.11 – 11.12.2021	
5	Цивільний захист та охорона праці	12.12 – 14.12.2021	
6	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини роботи.	10.12.21 – 18.12.21	

Студент-дипломник
Керівник




Васильченко Б. О.
Бушер В. В.

Анотація

Електрообладнання, електронна апаратура і системи управління контейнеровоза місткістю 13 092 контейнера

У дипломній роботі виконано аналіз електротехнічних систем судна типу контейнеровоз місткістю 13 092 контейнера. Приведено основні техніко-експлуатаційні характеристики судна. Зроблено розрахунок навантаження в основних режимах роботи і вибрано електропривод підрулюючого пристрою. Розроблено модель багаторівневого перетворювача частоти та синтезовано двоконтурний регулятор при використанні найпростішого скалярного закону керування, при якому динамічні та статичні властивості електроприводу задовольняють вимогам до механізму. Виконано розрахунок параметрів суднової електроенергетичної системи. За табличним методом розраховано потужність в кожному режимі та за вимогами Регістра зроблено вибір необхідної кількості дизель-генераторів суднової електростанції з урахуванням запасу за правилами безпеки. Надано опис безщіткового синхронного генератора та його системи збудження. Розроблено однолінійну схему головного і аварійного розподільних щитів. Описано схему розподілу електроенергії по судну. Обрано засоби автоматизації суднової електроенергетичної станції на базі контролерів DEIF Delomatic-4, розроблено функціональну схему автоматизованої системи управління СЕЕС та надано алгоритми управління СЕЕС для характерних режимів роботи. Додатково виконано аналіз динамічних процесів перетворювача частоти асинхронного двигуна підрулюючого пристрою зі скалярним управлінням. Показано, що з урахуванням вентиляторної характеристики навантаження такий електропривод задовольняє вимогам механізму. Виконано аналіз суднових радіонавігаційних засобів. Розглянуті питання 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 13 092 контейнеров

В дипломной работе выполнен анализ электротехнических систем судна типа контейнеровоз вместимостью 13 092 контейнера. Описаны технико-эксплуатационные характеристики и конструктивные особенности судна.

Произведен расчет нагрузки в основных режимах работы и выбран электропривод подруливающего устройства. Разработана модель многоуровневого преобразователя частоты и синтезирован двухконтурный регулятор при использовании простейшего скалярного закона управления, при котором динамические и статические свойства электропривода удовлетворяют требованиям механизма.

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. Дополнительно выполнен анализ динамических процессов в преобразователе частоты со скалярным управлением. Показано, что при вентиляторной нагрузке такой электропривод обеспечивает необходимые характеристики. Выполнен анализ систем управления СЭЭС установкой и 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 13 092

The containership with number of containers 13 092 was considered in the diploma work. Technical-operating descriptions and structural features of ship were described. The calculation of the load in the main modes of operation is made and the electric drive of the bow thruster is selected. A model of a multilevel frequency converter has been developed and a two-circuit controller has been synthesized using the simplest scalar control law, in which the dynamic and static properties of the electric drive correspond the requirements of the mechanism.

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. Additionally, the analysis of dynamic processes in frequency converter of the electric drive of the bow thruster is performed. The analysis of control system of ships power plant and navigational equipment was 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

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.....	10
4.3. Технічні характеристики та конструктивні особливості основних пристроїв управління судна, системи контролю, сигналізації та внутрішнього зв'язку.....	3
4.4 ГМЗСБ і навігація. Технічні характеристики та конструктивні особливості електро-радіо- навігаційних пристроїв та радіозв'язку.....	10
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	
ВИСНОВКИ.....	10
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	10
ДОДАТОК А: Система управління підрулюючим пристроєм.....	
ДОДАТОК Б: Таблиця електричного навантаження СЕЕС.....	
ДОДАТОК В: Однолінійна схема ГРЩ і АРЩ.....	
ДОДАТОК Г: Система автоматизації СЕЕС НІМАР-BCG 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 обладнано 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 судових 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 судових 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 визнана найважливішим напрямком енергетичної політики в світі та в Україні. Особливе значення має використання раціональних, з мінімальним споживанням електроенергії, способів керування технологічними процесами. На сьогоднішній день комплексна механізація й автоматизація виробництва вимагають широкого впровадження регульованого електропривода. З метою зменшення втрат електроенергії та зменшення ваги, перерізу силових кабелів, зменшення витрат міді (найціннішого електротехнічного матеріалу) в сучасних потужних системах електроприводу використовують високовольтні генератори,

перетворювачі та двигуни. В транспортних суднах – від 2100 до 6600 V, в пасажирських круїзних лайнерах – 11000 V. 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.

Більшість сучасних технологічних установок на морському транспорті оснащені електроприводом з АД. Вони характеризуються простотою конструкції і обслуговування, високою економічністю та надійністю на відміну від синхронних двигунів. Переваги асинхронних короткозамкнених двигунів очевидні, але великий пусковий струм неможливість прямого пуску потужних двигунів перекреслює всі переваги. Тому в потужних механізмах використовують керовані електроприводи. Насамперед це відноситься до електроприводу підрулюючого пристрою – баутрастера. На сучасних суднах використовують або високовольтні багаторівневі перетворювачі частоти, або тиристорні пристрої плавного пуску. Останні набагато дешевше, але їх динамічні характеристики неоптимальні та, особливо, вони надають значний вплив на судову електричну мережу. Тому в останній час найчастіше використовують високовольтні перетворювачі частоти.

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

На сучасних суднах кількість споживачів електроенергії судової електростанції безупинно збільшується, потужності споживачів ростуть, відповідно ростуть і потужності судових електричних станцій. Відбувається підвищення рівня розвитку й удосконалювання електроустаткування судових електростанцій, що дозволяє здійснити перехід до більш повного об'єму автоматизації судової енергетичної установки судна, до більшого ступеню безпеки мореплавання; розширити застосування комплексної автоматизації судових електростанцій і загально-суднових систем; підвищити надійність, гнучкість й економічність електричних установок і станцій шляхом розширення електрифікації та автоматизації суден; підвищити якість вироблюваної електричної енергії.

1. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА

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

Судно Maersk Essex – IMO 9458092, контейнеровоз, призначений для транспортування та перевезення контейнерів розмірами 20 та 40 футів у будь-яких водах та при різних кліматичних умовах. Максимальна місткість 20-футових контейнерів складає 13 092, є можливість підключення 800 рефрижераторних контейнерів.



Name	MAERSK ESSEX
Previous names	Libra Rickmers
Type	Cellular containership
IMO-number	9458092
Call sign	OXSQ2
Flag	Denmark
Port of registry	Kobenhavn

Previous flags	2011 - 2017 Marshall Islands, Majuro- Call sign: V7WJ2
GT	141.716 t
DWT	Summer: 142.105 t
NT	59.810 t
Number of 20ft containers	13.092
Reefer capacity	800
Length	366,44 m overall 353,64 m registered
Breadth	48,26 m extreme
Draught	Max: 15,50 m
Depth	29,85 m moulded
Speed	Max: 24,7 knots
Built	2011
Keel laid	22/12/2010
Launch date	07/06/2011
Date of completion	22/07/2011
Builder	Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. Ulsan South Korea
Yard number	2173
Hull material	Steel

Hull type	Double bottom, continuous from peak to peak bulkhead
Watertight bulkheads	12
Continuous decks	2
Main engine	1x Sulzer 12RT-Flex96C-B - 2 stroke 12 cylinder 960 x 2.500 mm combustion engine 68.640 kW at 102,0 rpm Built: 2011 Manufacturer: Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.
Propellers	1x Solid propeller (keyless) - aft at 102,0 rpm
Boilers	1x Steam boiler, oil fired - 8,83 bar Heating surface 73,4 m ² 1x Steam boiler, exhaust gas heated - 12,23 bar Heating surface 484,0 m ² Year of Manufacture; 2010 Manufacturer; KangRim Industries Co., Ltd. (3rd Factory)
Electric installations	5x Plant 6.600 V - 3.600 kVA 1x Plant 450 V - 370 kVA 2x Plants each 24 V - 7 Ah 1x Plant 24 V - 12 Ah 12x Plants each 24 V - 200 Ah 12x Plants each 24 V - 300 Ah
Generators	5x HimSen 6H32/40 main diesel generatorsets each 2.880 kW / 3.600 kVA
Emergency generator	1x Diesel generator 370 kVA

Batteries	12x Batteries for UPS navigation each 300 Ah 12x Batteries for UPS radio each 200 Ah 1x Battery for automation 12 Ah 2x Batteries for start emergency engine each 7 Ah
Compressed air receivers	2x Receivers each 16.800 litres - 29,4 bar 1x Receiver 480 litres - 29,4 bar 1x Receiver 300 litres - 8,8 bar 1x Receiver 2.000 litres - 8,6 bar
Bow thruster	2x Transverse thruster each 1.800 kW, forward
Anchor equipment	3x Anchors weight each 24.500 kg Chain Length 770,00 m
Cargo gear	Gearless
Crew size	36
Manager	Maersk Line A/S
Registered owner	Ocean Hun Shipping Ltd.
Latest data adjustment	30 January 2019

Максимальна швидкість судна в повному завантаженні – 24.7 вузла.

На судні встановлено в якості головного двигуна дизель типу «1x Sulzer 12RT-Flex96C-B - 2 stroke 12 cylinder 960 x 2.500 mm combustion engine» потужністю 68.640 kW при швидкості обертання 102 rpm. Рушій судна – бронзовий суцільно литий гвинт. Судно має 3 якоря масою 24.500 24.500 kg з ланцюгом 770 m.

Підрулюючий пристрій – 2 реверсивних баутрастера на носі судна потужністю по 1.800 kW.

Енергетична установка складається з 5-и дизель-генераторів Hyundai Himsen 6H32/40 потужністю 2880 kW / 3600 kVA та аварійного дизель-генератору потужністю 250 kVA.

Суднова електроенергетична система 5x Plant 6.600 V – 3.600 kVA; 1x Plant 450 V – 370 kVA; 2x Plants each 24 V – 7 Ah; 1x Plant 24 V – 12 Ah; 12x Plants each 24 V – 200 Ah; 12x Plants each 24 V – 300 Ah

2. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПІДРУЛЮЮЧОГО ПРИСТРОЮ

2.1. Розрахунок та вибір електродвигуна, аналіз режимів роботи

Потужність встановленого на судні двигуна складає 1800 kW при швидкості обертання 1150 rpm, що надає змогу визначити номінальний момент навантаження з урахуванням запасу на падіння напруги:

$$M_v = \frac{\eta P_n}{\omega_n} = \frac{0.833 \cdot 1800000}{1150\pi / 30} = 12450 \text{ Nm}, \quad (2.1)$$

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

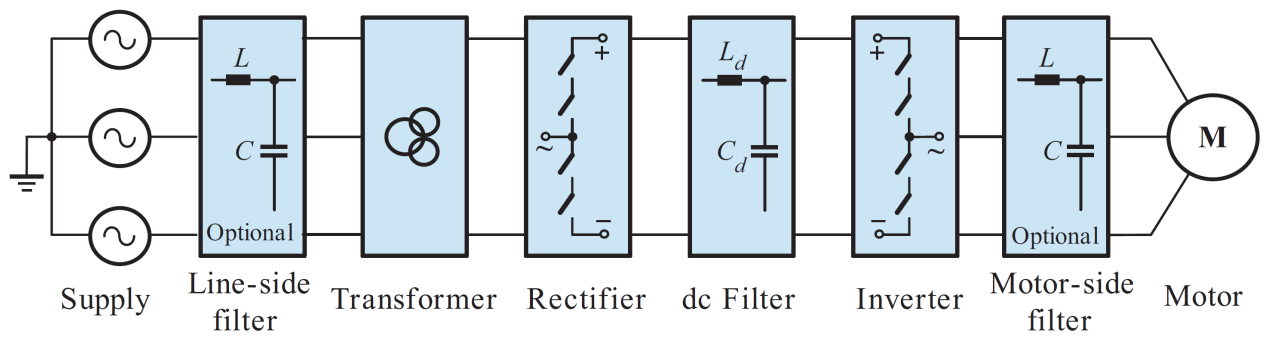
Керування швидкістю та моментом двигуна забезпечує високовольтний перетворювач частоти. Використання перетворювачів частоти (ПЧ) є найбільш економічним способом плавного автоматичного регулювання швидкості обертання і продуктивності електроприводу, що дозволяє більш ефективно забезпечити:

- енергозбереження, так як асинхронний двигун (АД) працює в оптимальному з точки зору енергетиці режимі при будь-якої швидкості;
- незалежність швидкості від навантаження, оскільки жорсткість електромеханічних характеристик при частотному керуванні співпадає, а іноді й вище природної.
- електромагнітну сумісність з судновою електроенергетичною мережею у зв'язку з тим, що високовольтні каскадні перетворювачі частоти завдяки силовому трансформатору та конденсаторам після випрямлячів в кожній секції практично не генерують перешкоди в судову мережу.

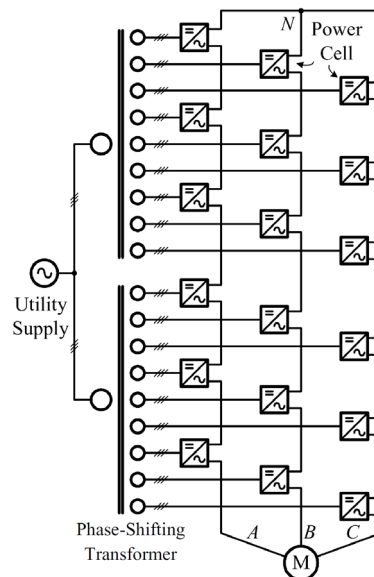
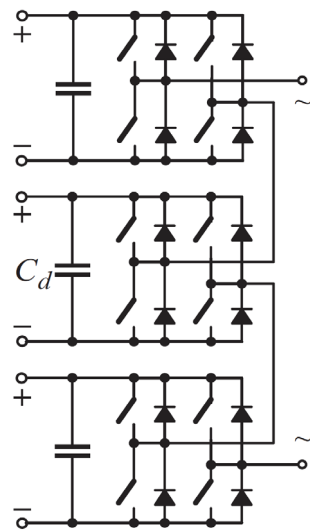
Високовольтні каскадні перетворювачі частоти розповсюджуються у різних галузях техніки з потужними споживачами, в тому числі у судових електроприводах підрулюючих пристроїв, в високовольтних судових

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].

Більшість сучасних високовольтних перетворювачів будують за схемою каскадного послідовного з'єднання окремих Н-мостів (комірок) в кожній фазі (каскадні АІН, «cascaded H-bridge converter») (рис. 2.1, а). Кожна комірка є окремим 4-квадрантим 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 високих рівнів вихідної напруги [4]. Принципи керування комірками обумовлюються силовими елементами (IGBT, GTO, IGCT, SGCT) [6–8]. Для отримання напруги 6600 V використовують 6-каскадні перетворювачі частоти (рис. 2.1). На рисунку надано узагальнену функціональну схему каскадного перетворювача частоти (а), спрощену схему однієї фази для 3-каскадного перетворювача (б), загальний вигляд типового високовольтного ПЧ Siemens Simovert MV (в) та спрощену схему силової частини (г). Такий тип перетворювачів випускає компанія Siemens, серія SIMOVERT MV [9].



a)



б)

в)

г)

Рисунок 2.1. – Узагальнена функціональна схема каскадного перетворювача частоти (а), спрощена схема однієї фази для 3-каскадного ПЧ (б), загальний

вигляд типового високовольтного ПЧ Siemens Simovert MV (в) та спрощена
схема силової частини (г)

Метою даного розділу роботи є дослідження статичних і динамічних процесів в високовольтному асинхронному електроприводі з перетворювачем частоти з векторним управлінням та синтез регуляторів, які забезпечують оптимальні перехідні процеси при роботі підрулюючого пристрою.

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 пуску, реверсу та зупинки при векторном керуванні ШІМ каскадного АІН;
- дослідити форми напруги і струмів високовольтного ПЧ, порівняти їх з типовим низьковольтним ПЧ.

Модель каскадного багаторівневого перетворювача частоти побудовано в середовищі Matlab / Simulink (рис. 2.2–2.4) [11, 12].

За наданими параметрами підрулюючого пристрою обираємо найближчий за потужністю двигун марки ABB/AMD710L8T, технічні характеристики якого наведено у табл. 2.1, а параметри схеми заміщення – у табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики АД марки АВВ

6600 V, 60 Hz

IP55 – IC411 – insulation class F, temperature rise class B

Output (kW)	Motor type	Speed (r/min)	Efficiency		Power factor		Current			Torque			Rotor inertia (kgm²)	Motor weight (kg)	Sound pressure level (dB(A))
			Full load 100%	3/4 load 75%	Full load 100%	3/4 load 75%	I_N (A)	I_s I_N (pu)	I_0 (A)	T_N (Nm)	T_s T_N (pu)	T_{max} T_N (pu)			
1200 r/min = 6 poles			6600 V 60 Hz												
1180	AMD 500S6R	1195	95.2	94.7	0.85	0.82	126	6.1	44.4	9435	0.8	2.2	67.8	8400	84
1320	AMD 500S6R	1195	97.0	96.9	0.86	0.83	139	6.4	47.4	10554	0.8	2.2	79.4	8980	84
1450	AMD 500M6R	1195	97.1	97.0	0.86	0.84	151	6.4	49.0	11595	0.9	2.2	87.2	9660	84
1550	AMD 500M6R	1195	97.2	97.1	0.86	0.84	162	6.3	52.1	12393	0.8	2.2	94.5	10070	84
1200 r/min = 6 poles			6600 V 60 Hz												
960	AMD 560L6T	1191	96.2	96.3	0.87	0.85	100	5.5	28.7	7695	1.0	1.9	35.2	6490	84
1100	AMD 560L6T	1190	96.1	96.3	0.87	0.86	115	4.8	28.7	8831	0.8	1.7	35.2	6490	84
1230	AMD 630L6T	1193	95.9	95.7	0.88	0.86	128	6.3	38.6	9843	1.0	2.2	50.9	7870	83
1370	AMD 630L6T	1193	96.0	95.8	0.88	0.85	142	6.4	43.6	10964	1.0	2.3	54.1	8150	83
1530	AMD 630L6T	1193	96.1	96.0	0.89	0.87	157	6.4	43.9	12246	1.1	2.3	63.8	8950	83
2460	AMD 710L6T	1193	96.6	96.6	0.90	0.90	246	6.2	54.4	19699	1.0	2.2	138.8	12980	82
900 r/min = 8 poles			6600 V 60 Hz												
1320	AMD 710M8T	894	96.3	96.2	0.88	0.86	137	5.8	38.2	14101	1.0	2.0	126.8	11300	77
1750	AMD 710M8T	894	96.6	96.5	0.87	0.86	182	5.7	51.4	18686	0.9	2.0	142.6	12000	77
1970	AMD 710L8T	894	96.6	96.7	0.89	0.88	201	6.3	51.3	21041	1.1	2.2	165.4	12980	77

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики АД марки АВВ/AMD710L8T

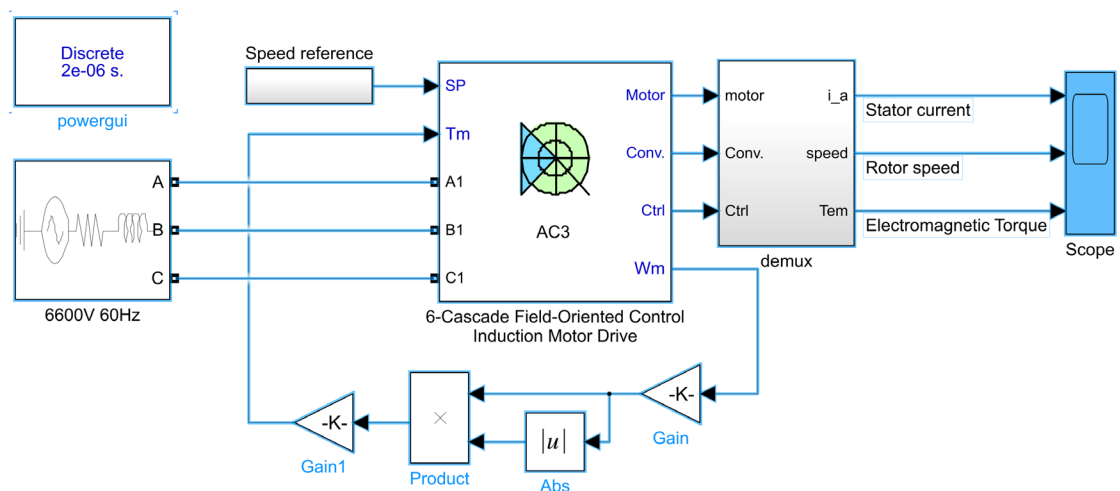
Номінальна потужність	1970 kW	Коефіцієнт потужності	0.89
Напруга	6600 V	Номінальний момент	21041 Nm
Частота	60 Hz	Відносний пусковий струм	6.3
Частота обертання	894 rpm	Відносний пусковий момент	1.1
Струм	201 A	Відносний макс. момент	2.2
Параметри схеми заміщення			
Опір статору R1 (120°C)	1.753693	Опір ротору R2' (40°C)	1.221971
Індуктивність статору L1	0.002049	Індуктивність ротору L2'	0.002049

Індуктивність намагнічування L0	0.052162		
Момент інерції ротора		165.4 kgm ²	

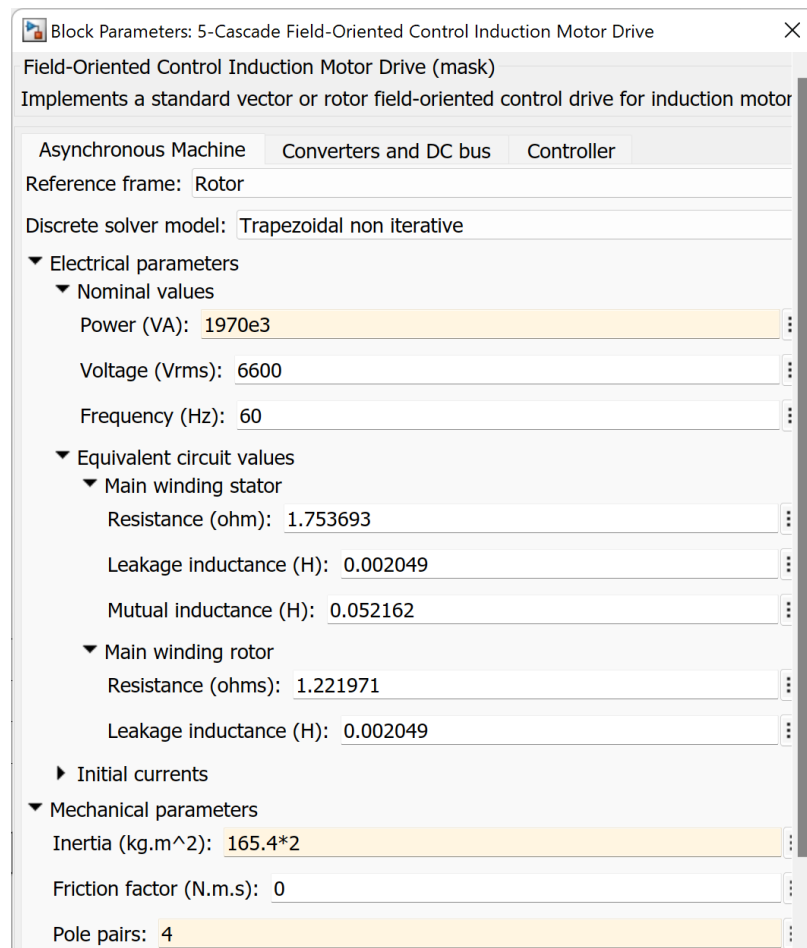
Параметри високовольного ПЧ:

1. Структура АІН: 6-каскадна схема з живленням кожного Н-моста від трансформатора з розщепленою вторинною обмоткою (рис. 2.1).
2. Метод ШІМ: векторне керування з просторово-векторною модуляцією.
3. Число рівнів вихідної напруги: 13.
4. Елементна база модулів: IGBT-транзистори з паралельно включеними діодами зворотного струму.

Модель, загальна структура якої відображена на рис. 2.2, складається з блоків завдання частоти, моделі векторного керування, блоків завдання механічного навантаження вентиляторного типу [13, 14]. В параметрах механічної частини приблизно враховано момент інерції гвинта та доданих мас води, як ще один момент інерції ротора.

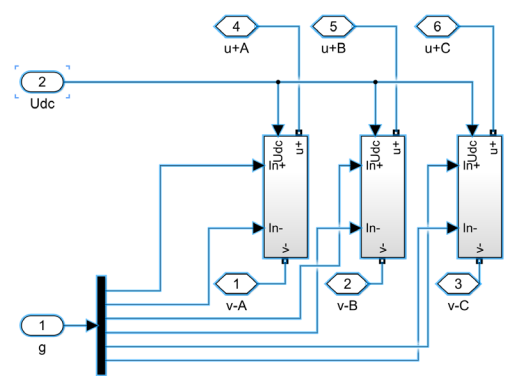


a)



б)

Рисунок 2.2. – Загальна модель (а) та налаштування параметрів
електромеханічної частини (б)



6)

Рисунок 2.3. – Блок векторного керування з 6-каскадними IGBT-мостами в силовій частині (а) та окремий трифазний каскад (б)

Завдяки існуючій в Matlab/Simulink/SimPowerSystem моделі ас3, використаємо механізм автоматичного налаштування регуляторів.

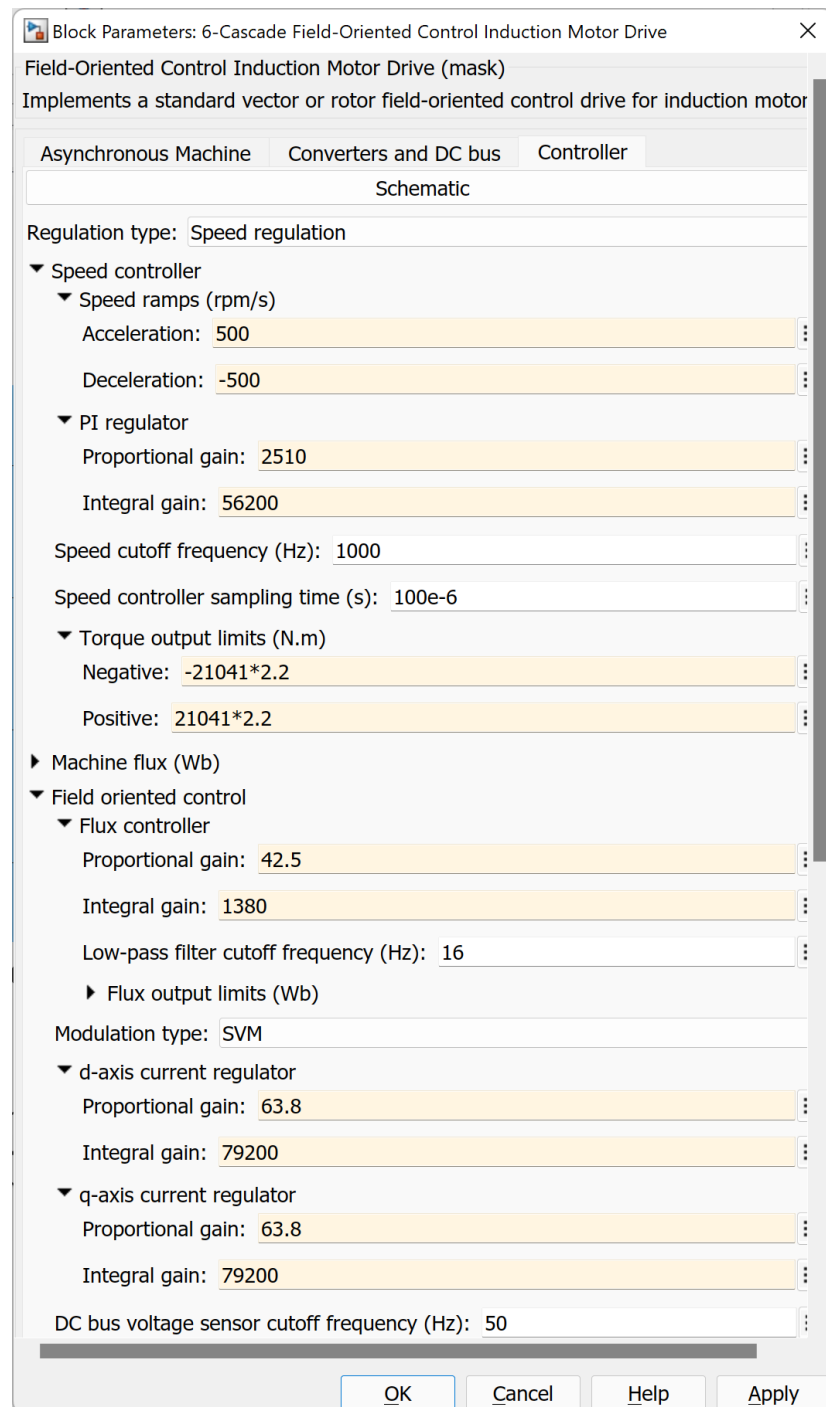


Рисунок 2.4. – Автоматичне налаштування регуляторів за введеними параметрами електричної та механічної частин

В результаті розрахунків отримано графіки перехідних процесів – струму статора, швидкості та електромагнітного моменту (рис. 2.5).

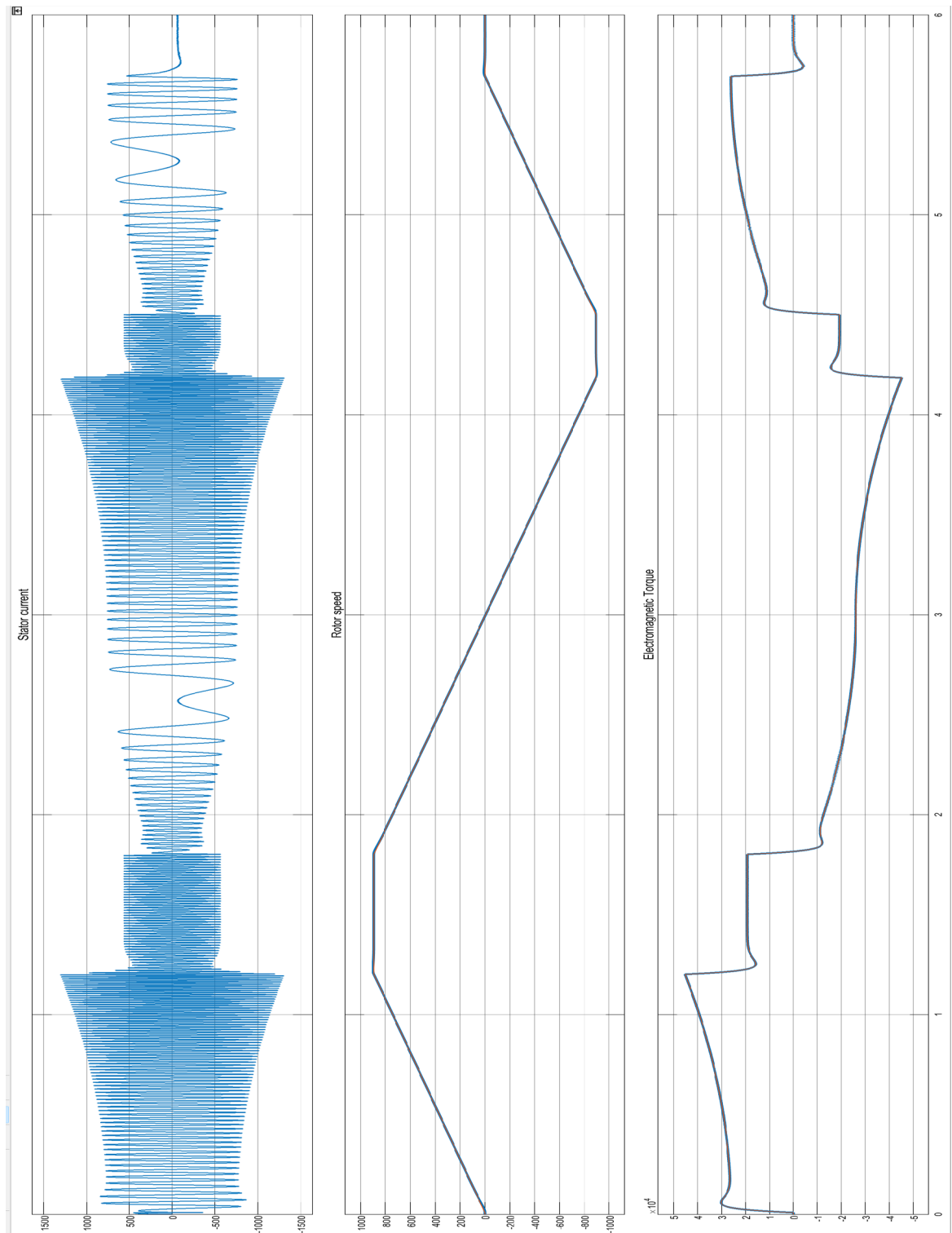
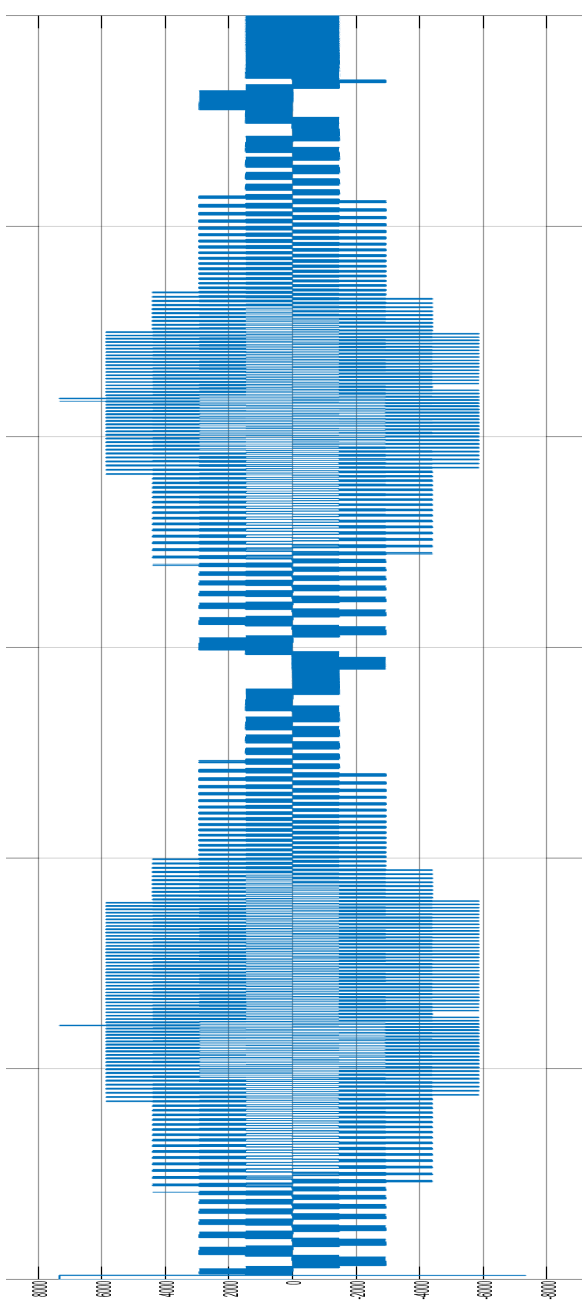
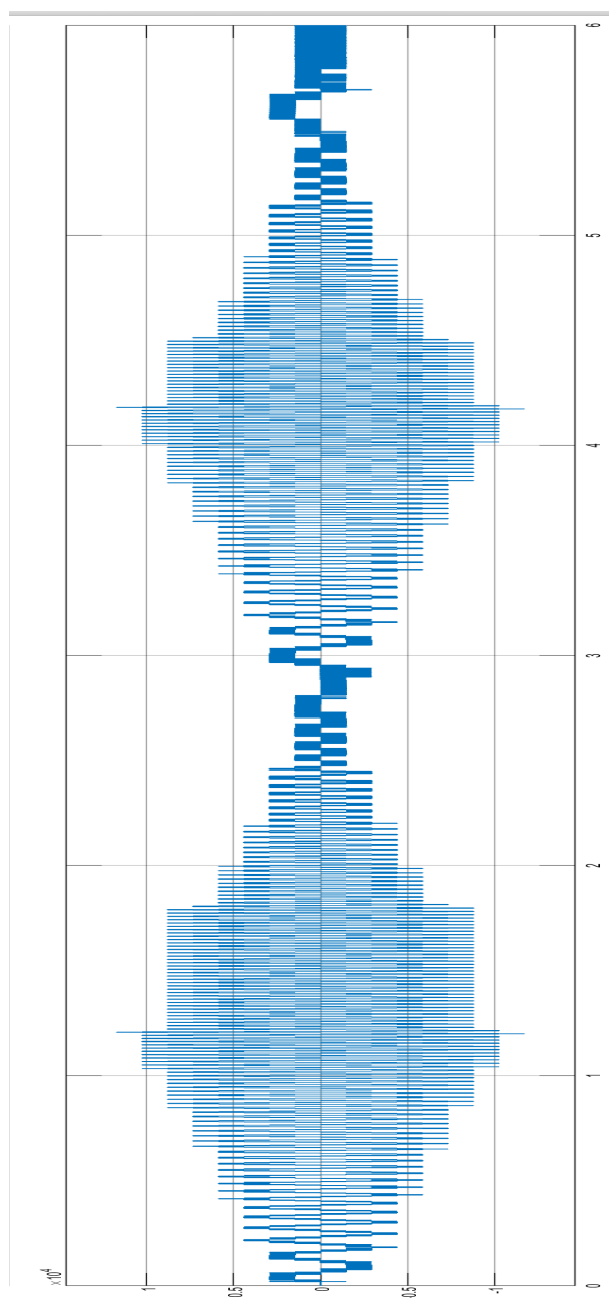


Рисунок 2.5. – Графіки перехідних процесів струму статора, швидкості та електромагнітного моменту

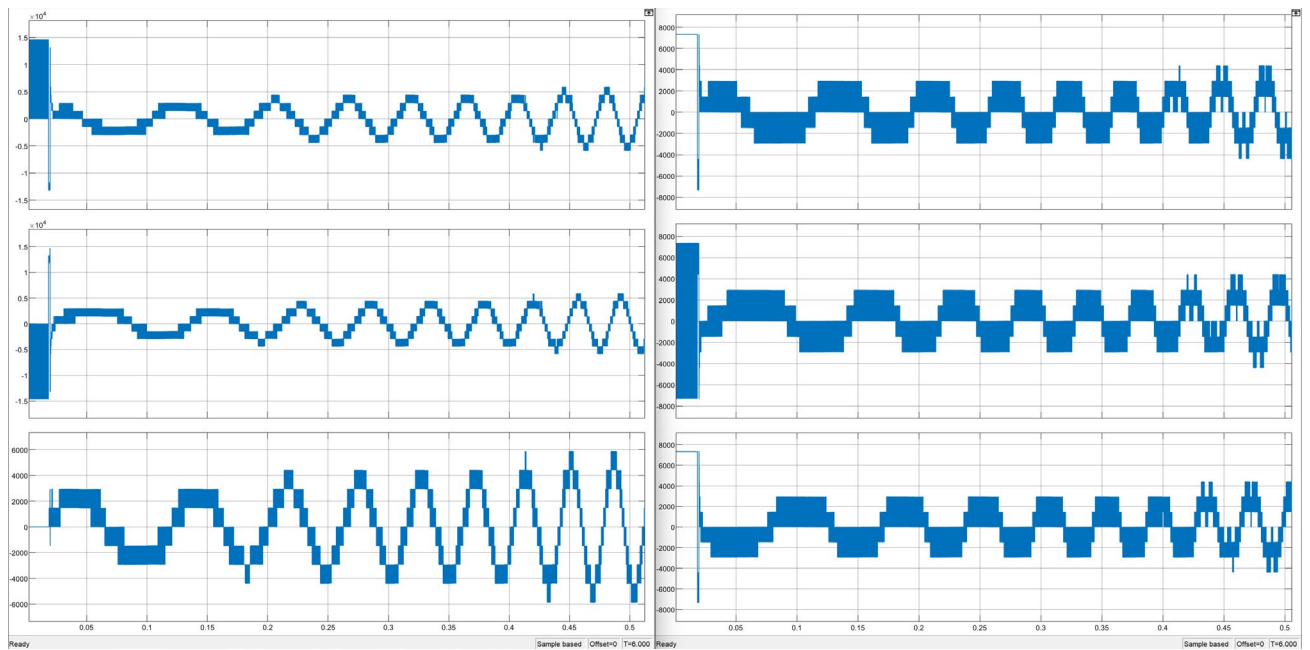




а)

б)

Рисунок 2.6. – Графіки фазної (а) та лінійної (б) напруги



а)

б)

Рисунок 2.7. – Збільшені фрагменти графіків лінійних (а) та фазних (б) напруг

З графіків 2.7 добре видно, що завдяки широтно-імпульсній модуляції та багаторівневому перетворювачу частоти лінійні напруги наближені до синусоїдальних. В той же час на сигналах фазних напруг спостерігаються здвоєні «сідла» на верхівках, що є ознакою використання просторово-векторної модуляції. Незважаючи на викривлення форми, збільшується на 15.5% коефіцієнт використання напруги блоків живлення постійного струму, а так як таке викривлення є результатом тільки гармонік, кратних 3, то на лінійні напруги та на асинхронний двигун вплив відсутній.

Крім того, використання багаторівневого перетворювача частоти підвищує надійність електроприводу та живучість суднових електроенергетичних систем.

2.2. Розрахунок і вибір комутаційно-захисної апаратури

Вибір автоматичного вимикача. Для вибору автоматичного вимикача, що підключає електропривод, знайдемо розрахунковий струм за формулою:

$$I_H = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H} = \frac{1970000}{1,73 \cdot 6600 \cdot 0.89} = 193 \text{ A}, \quad (2.5)$$

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

За струмом двигуна 193 А обираємо автоматичний вимикач фірми JUCRO Electric.

Тип: 12KV VCB Vacuum Circuit Breaker HVD1-12, паспортні параметри наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 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 m*mm²/Ohm при t = 65°C):

$$I_a = I_k \cdot \cos \varphi_n = 193 \cdot 0.89 = 171 \text{ A}$$

Тоді з формули (2.6), маємо:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 171 \cdot 6.3 \cdot 100}{48 \cdot 3 \cdot 6600} = 0.197 \text{ \%}.$$

Таким чином, втрата напруги не перевищую припустимих значень.

2.4. Вибір схеми живлення, управління та апаратних засобів управління

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

Технічні характеристики з каталогу компанії Rockwell Automation надано в табл. 4 [15].

Відповідно до технічної специфікації обираємо перетворювач частоти 6000G–B(B-Frame)–A(Normal Duty)–250(A)–K(IP42)–J(6600V)–6(Line f=60Hz)–AP(Control Voltage 240V), тобто:

PowerFlex 6000G–B–A–250–K–J–6–AP.

Перетворювачі частоти серії PowerFlex6000 забезпечують важливі у морському транспорті показники.

Висока ефективність і зручність використання.

В процесі розробки перетворювачів частоти особливу увагу було приділено приводній системі в цілому, щоб забезпечити найкращу конфігураційну гнучкість, високу ефективність і сумісність з технологічним процесом.

Функціональна схема перетворювачів частоти відповідає використаній в Matlab моделі (рис. 2.8).

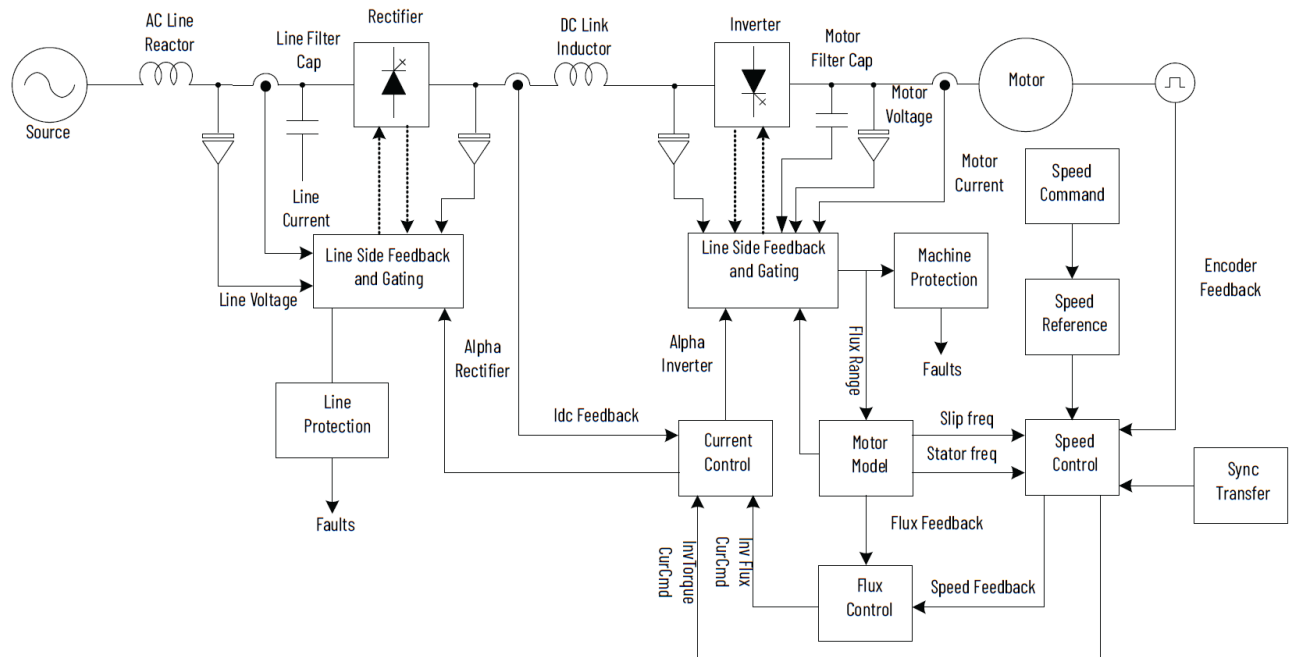


Рисунок 2.8 – Функціональна схема перетворювачів частоти PowerFlex

Так, завдяки багатоконтурній системі керування з датчиками швидкості, амплітуди та напрямку векторів магнітного потоку збудження та напруги статора, досягається висока продуктивність та точність відпрацювання діаграми швидкості будь-якої форми. Управління приводом відбувається швидко і плавно у всіх режимах, навіть при великих відхиленнях напруги живлення і частоти.

Багаторівнева комутація і топологія PowerFlex передбачає оптимальну кількість рівнів комутації, які визначають багаторівневу форму вихідної напруги, що забезпечує сумісність з двигуном. Це дозволяє застосовувати стандартні двигуни напругою від 2.4 до 11 kV без зниження надійності.

Сполучення з мережею живлення відбувається з силовим трансформатором, в якому для мінімізації нелінійних спотворень використано 36 вторинних обмоток з різним фазовим зсувом. Це дозволяє отримати 30-

пульсний випрямляч. Він відповідає вимогам щодо гармонійних спотворень струму і напруги, визначених стандартами IEEE, IEC, EN. При цьому для нових приводних систем відсутня необхідність проведення дорогого аналізу гармонік або установки мережеских 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. 2.9).

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

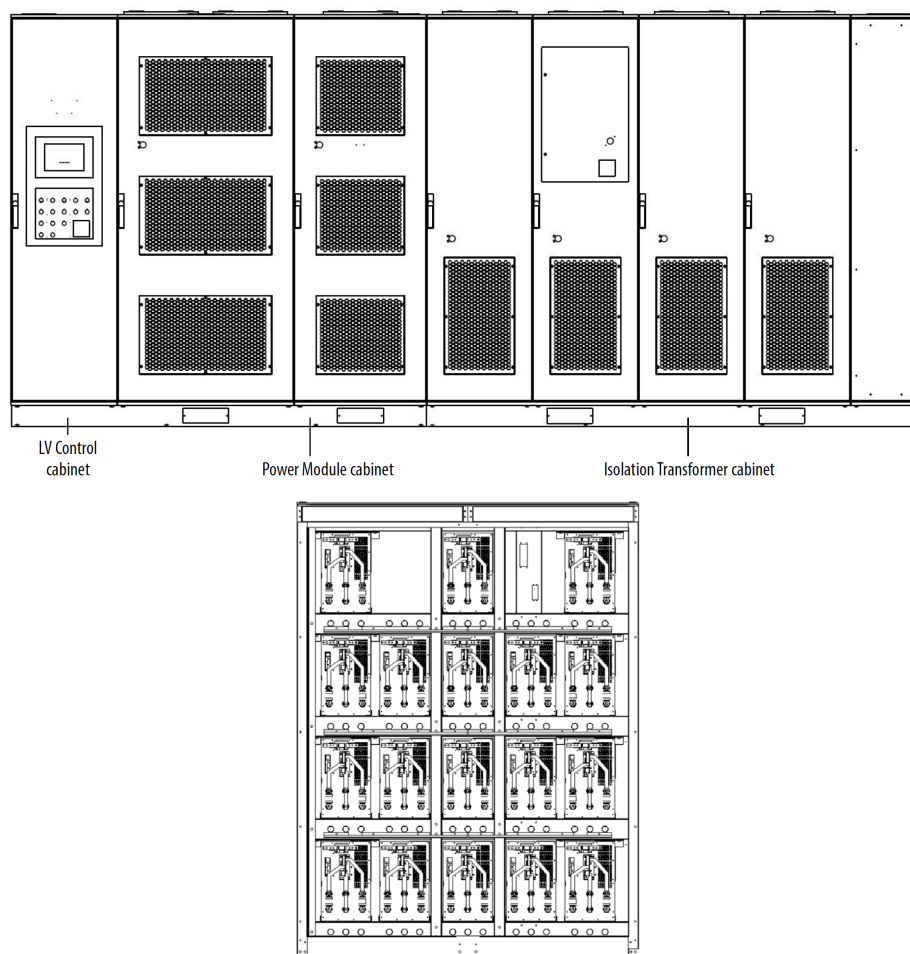


Рисунок 2.9 – Модуль перетворювача частоти та секція Н-мостів

Таблиця 2.4. 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. Силкові контакти перетворювача частоти та дискретні і аналогові входи та виходи блоку керування для обраного пристрою надано на рис. 2.10 [15].

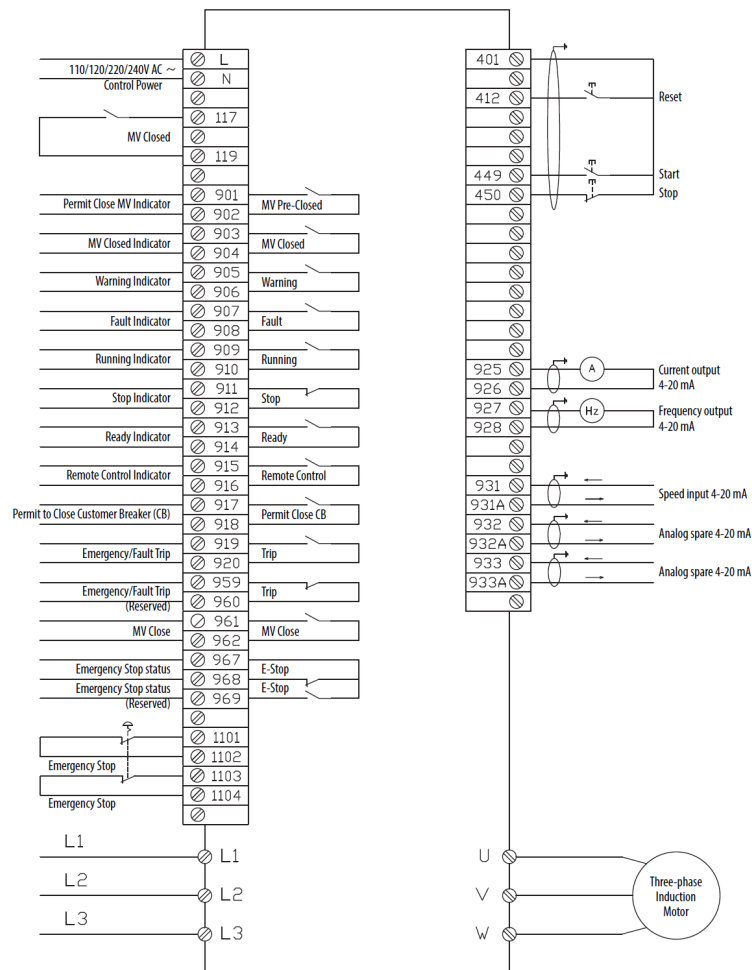


Рисунок 2.10. – Силкові контакти ПЧ та дискретні і аналогові входи та виходи блоку керування

Таким чином, в розділі обрано обладнання для високовольтного електроприводу підрулюючого пристрою з векторним керуванням, розроблено модель для аналізу типових режимів роботи, обрано необхідні параметри регуляторів за допомогою процедури автоматичного налаштування, що забезпечує вимоги до підрулюючого пристрою з високоточного відпрацювання заданої тахограми.

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_H , kW; ККД двигуна η_H , %; коефіцієнт потужності $\cos\phi$), а також за заданою кількістю одночасно працюючих однотипних електродвигунів N_p та коефіцієнту завантаження K_3 , %, розраховуємо наступні параметри:

Споживча потужність одного електродвигуна:

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

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

$$P_{вд} = P_{п} K_3 N_p, \text{ kW} \quad (3.2)$$

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

При короткочасному режимі роботи:

$$P_{вк} = P_{п} K_3 N_p, \text{ kW} \quad (3.4)$$

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

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:

$$P_{тд} = \sum P_{вд}, \text{ kW} \quad (3.6)$$

$$Q_{тд} = \sum Q_{вд}, \text{ kVAr} \quad (3.7)$$

При короткочасному режимі роботи:

$$P_{тк} = \sum P_{вк}, \text{ kW} \quad (3.8)$$

$$Q_{тк} = \sum Q_{вк}, \text{ kVAr} \quad (3.9)$$

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 $P_{заг}$ та загальна реактивна потужність $Q_{заг}$ для кожного з режимів роботи судна:

$$P_{заг} = P_{тд} k_{pT} + P_{тк} k_{pK}, \text{ kW} \quad (3.10)$$

$$Q_{заг} = Q_{тд} k_{pT} + Q_{тк} k_{pK}, \text{ kVAr} \quad (3.11)$$

Обчислюється загальна повна потужність $S_{заг}$ для кожного режиму роботи судна:

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

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 $\cos \phi_{CP} \geq 0.8$, генератори треба обирати за активною потужністю, в іншому випадку – за повною.

Крім того, необхідно врахувати, що на судні 5 дизель-генераторів Hyundai Himsen 6H32/40 використовуються для живлення всієї мережі і для роботи двох потужних баутрастерів по 1800 kW.

У нашому випадку у ходовому режимі з реф. контейнерами

$$\cos \phi_{CP} = \frac{5337}{5610} = 0.95$$

У маневровому режимі з реф. контейнерами та підрулюючим пристроєм

$$\cos \phi_{CP} = \frac{8799}{9514} = 0.93$$

В режимі стоянки

$$\cos \phi_{CP} = \frac{2802}{3261} = 0.85$$

В аварійному режимі

$$\cos \phi_{CP} = \frac{208}{247} = 0.85$$

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 необхідно передбачити основне джерело електричної енергії з 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, пробоїни корпусу або інших, що впливають на безпеку плавання судна, умов при роботі основного джерела електричної енергії, інших режимів відповідно до призначення судна.

У нашому випадку для контейнеровозу найбільш важким для енергетичної системи є маневровий режим з рефрижераторними контейнерами та підрулюючими пристроями. Загальна потужність при цьому режимі становить 8029 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 три дизель-генератора безщіткового типу Hyundai Himsen 7H32/40 потужністю 4.467 kVA / 3.574 kW кожен та один дизель-генератор Hyundai Himsen 6H32/40

потужністю 3.800 kVA / 3.040 kW, який в основному буде використовуватися в маневровому режимі.

Виходячи з отриманих розрахунків, які надано в Додатку Б, при маневровому режимі з рефрижераторними контейнерами та підрулюючим пристроєм буде використано 4 генератора, працюючих в паралелі. Враховуючи використання перетворювача частоти, динамічні режими пуску підрулюючого пристрою несуттєво впливають на навантаження мережі. В цьому режимі підключаються 4 дизель-генератора.

Розрахуємо коефіцієнт навантаження генераторів при цьому режимі:

$$k_H = \frac{P_{ЗАГ}}{nP_G} \quad (3.14)$$
$$k_H = \frac{8799}{4 * 3600} = 0.764$$

У випадку підвищення навантаження може короткочасно бути використаний 4-й дизель-генератор. Тоді коефіцієнт навантаження генераторів при цьому режимі:

$$k_H = \frac{8799}{18000} = 0.489.$$

Таким чином, коли працюють всі 4 генератора, їх навантаження 58.3 % не менше 50 %, а коли працюють 3 дизель-генератора, їх навантаження складає 78.8 %, тобто в обох випадках навантаження не виходить за рамки Правил Регістра, а також є можливість відповідно до вимог забезпечення надійної роботи електричної станції за правилами Регістру мати один резервний генератор, який зможе замінити любий з генераторів, який вийшов з ладу.

Загальна потужність при аварійному режимі складає 247 kVA. Для забезпечення надійної роботи аварійного дизель-генератору обираємо дизель-генератор більшої потужності: синхронний генератор безщіткового типу HYUNDAI HFC7-354-4 потужністю 370 kVA (296 kW), 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	5337	3 основних	2 основних
Маневровий режим з реф. контейнерами	8799	4 основних	1 основний
Стоянка	2802	2 основний	3 основних
Аварійний	208	1 аварійний	5 основних

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

Кількість	Генератор	Тип генератора	Потужність, kW	Потужність, kVA	Частота обертання, об/хв	Напруга, В	Струм, А	Cos(φ)
1	Основний	Hyundai Himsen 6H32/40	2880	3600	720	6600	266	0,8
1	Аварійний	HYUNDAI HFC7-354-4	296	370	1800	450	320	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 якої становить 300 Ah.

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

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

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 окремі палубі, аварійний генератор і АРЩ на шлюпковій палубі. Кількість і потужність генераторних агрегатів визначено раніше. Напругу судової силової мережі приймаємо 6600 В, частота 60 Гц. Це пов'язано не тільки з великою потужністю СЕЕС, а також з великою протяжністю кабельних трас, які з'єднують ГРЩ з трансформаторами рефрижераторних контейнерів та підрулюючим пристроєм, які споживають велику частину виробленої електроенергії. Використання трансформаторів 6600/440 В для живлення рефрижераторних контейнерів дозволяє зробити гальванічну розв'язку

розеток контейнерів від основної мережі, що підвищує надійність та рівень безпеки СЕЕС в цілому.

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 сліднують 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 відповідальні 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) 6600/450 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;
- брашпильні якорні носові;
- швартовні лебідки;
- розподільний щит (РЩ) №1 вентиляторів 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 заборотної 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 воді 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 заборотної 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 «INNARSAT-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 kV;
- ударний струм -104 kA;
- діюче значення – 40 kA;
- межі уставок на струм спрацювання - $(2:8) I_n$ розчіплювача;
- уставка на час спрацювання – 0.63 s;
- термічна стійкість - $3000 \cdot 10^6 \text{ х } A^2 s$.

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.

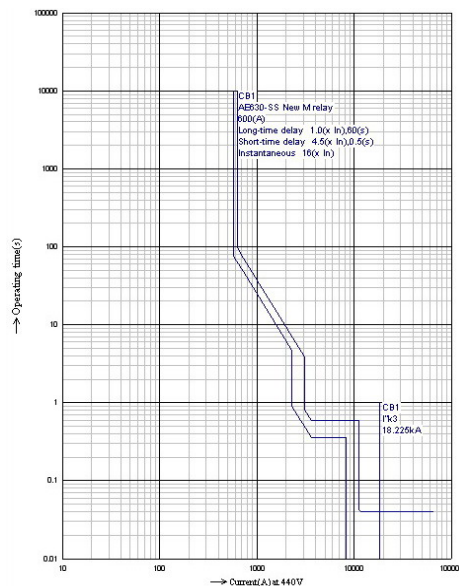


Рисунок 3.9 – Струмова часова діаграма

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-TPYCY.

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

Технічні дані:

- число жил: від 7 x 1,7 mm² до 37 x 2,52 mm²;
- номінальний перетин жили: від 16 до 150 mm² ;
- номінальна напруга: 6/10 kV;
- максимальна температура: 90°C.

Кабель FA-TPYCY 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:

$$I_{\text{гн}} = \frac{S_{\text{гн}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{гн}}} = \frac{4466.7}{\sqrt{3} \cdot 6600} = 390 \text{ А} \quad (3.15)$$

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;

$\Sigma I_r = I_{r1} + I_{r2} + \dots + I_{rn}$ - 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:

$L = 410\text{m} = 0.41 \text{ km}$; $I = I_{\text{га}} = 630 \text{ A}$; $\cos \phi = 0.8$; $\sin \phi = 0.6$; $r = 0.126 \text{ Ohm/km}$; $x = 0.0922 \text{ Ohm/km}$;

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}IL(r \cos \phi + x \sin \phi)}{U} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 630 \cdot 0.41 \cdot (0.126 \cdot 0.8 + 0.0922 \cdot 0.6)}{6600} \cdot 100 = 1.058 \%$$

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 , $U_{\text{раб}}$, I_n , $I_{\text{раб}}$ – 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: $K_3 = 1$.

На підставі вибору 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:

$S_{H1}=4000\text{kVA}$; $U_H=6600\text{ V}$; $I_H=350\text{ A}$; $x_d'' = 0,117\text{ Ohm}$; $r_T=0,0878\text{ Ohm}$;

$S_{H2}=4000\text{kVA}$; $U_H=6600\text{ V}$; $I_H=350\text{ A}$; $x_d'' = 0,117\text{ Ohm}$; $r_T=0,0878\text{ Ohm}$;

$S_{H3}=4000\text{kVA}$; $U_H=6600\text{ V}$; $I_H=350\text{ A}$; $x_d'' = 0,117\text{ Ohm}$; $r_T=0,0878\text{ Ohm}$;

$S_{H4}=4000\text{kVA}$; $U_H=6600\text{ V}$; $I_H=350\text{ A}$; $x_d'' = 0,117\text{ Ohm}$; $r_T=0,0878\text{ Ohm}$.

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:

$$S_6 = 3 \times 4467 + 3800 = 17200\text{ kVA}; U_6 = 6600\text{ V};$$

$$I_6 = 17200 / (\sqrt{3} \cdot 6600) = 1500\text{ A}.$$

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

Активні:

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_T \cdot \frac{S_6 \cdot 1000}{U_6^2} = 0.0878 \cdot \frac{17200 \cdot 1000}{6600 \cdot 6600} = 0.044\text{ Ohm};$$

Реактивні:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x_d'' \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_n} = 0.117 \cdot \frac{17200}{4000} = 0.468 \text{ Ohm};$$

Опори кабелю FA-ТРУСУ-150 (3x150) 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:

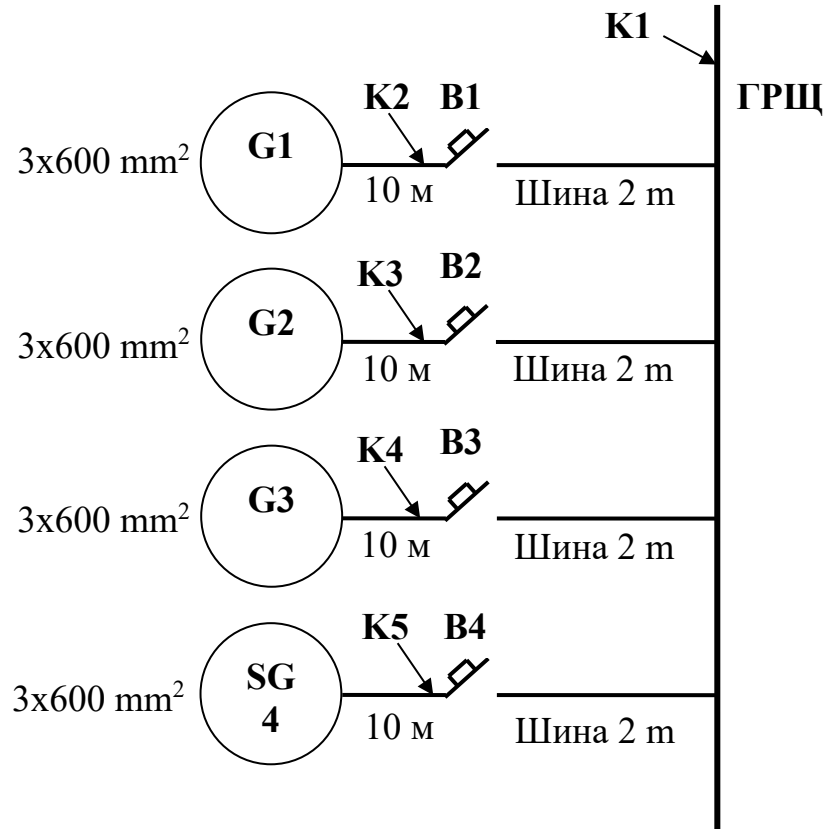


Рисунок 3.10 – Розрахунок струмів короткого замикання генераторів

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

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

Активний опір вимикачів B1, B2, B3, B4 ряду контактів і шин ГРЩ приймаємо рівним 0.0002 Ohm , індуктивне 0.0001 Ohm .

Тоді загальний опір кабелю і шин буде:

$$r_5 = \left(3.13 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-4} \right) \frac{17200 \cdot 1000}{6600 \cdot 6600} = 0.000249 \text{ Ohm};$$

$$x_5 = \left(2.295 \cdot 10^{-4} + 10^{-4} \right) \frac{17200 \cdot 1000}{6600 \cdot 6600} = 0.000172 \text{ Ohm};$$

Загальний опір чотирьох однакових генераторних променів

$$r_6 = r_1 + r_5 = 0.032 + 0.000249 = 0.0322 \text{ Ohm};$$

$$x_6 = x_1 + x_5 = 0.459 + 0.000172 = 0.4592 \text{ Ohm};$$

Для визначення еквівалентного опору скористаємося комплексною формою їх запису:

$$Z_6 = r_6 + jx_6 = 0.0322 + j \cdot 0.4592 \text{ Ohm};$$

$$Z_7 = r_7 + jx_7 = 0.0322 + j \cdot 0.4592 \text{ Ohm};$$

$$Z_8 = r_8 + jx_8 = 0.0322 + j \cdot 0.4592 \text{ Ohm};$$

$$Z_9 = r_9 + jx_9 = 0.0322 + j \cdot 0.4592 \text{ Ohm};$$

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

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):

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

$$i_{yд.г} = \sqrt{2} \cdot 1500 \cdot (7.23 + 8.12 \cdot (1.8 - 1)) = 36232 \text{ A}.$$

При короткому замиканні в точці K_1 , $\Delta U = 0$. Тоді додатковий струм, створюваний електродвигунами в точці K_3 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:

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

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

Струм підживлення двигунів:

$$i_{yдд} = \sqrt{2} \cdot I_\partial \cdot I_d = \sqrt{2} \cdot 1500 \cdot 3.38 = 9055 \text{ A};$$

Ударний струм в точці K_1 буде рівний сумі:

$$i_{уд} = i_{удд} + i_{уд.г} = 9055 + 34232 = 43287 \text{ А.}$$

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, К5. Орієнтовно ударні струми КЗ в точках рівні:

$$\text{К2: } i_{удГ} = i_{уд} \cdot \frac{S_{Г}}{S_{\delta}} + i_{уд\delta} = 43287 \frac{4467}{17200} + 9055 = 26372 \text{ А;}$$

$$\text{К3: } i_{удГ} = i_{уд} \cdot \frac{S_{Г}}{S_{\delta}} + i_{уд\delta} = 43287 \frac{4467}{17200} + 9055 = 26372 \text{ А;}$$

$$\text{К4: } i_{удГ} = i_{уд} \cdot \frac{S_{Г}}{S_{\delta}} + i_{уд\delta} = 43287 \frac{4467}{17200} + 9055 = 26372 \text{ А;}$$

$$\text{К5: } i_{удГ} = i_{уд} \cdot \frac{S_{Г}}{S_{\delta}} + i_{уд\delta} = 43287 \frac{4467}{17200} + 9055 = 26372 \text{ А;}$$

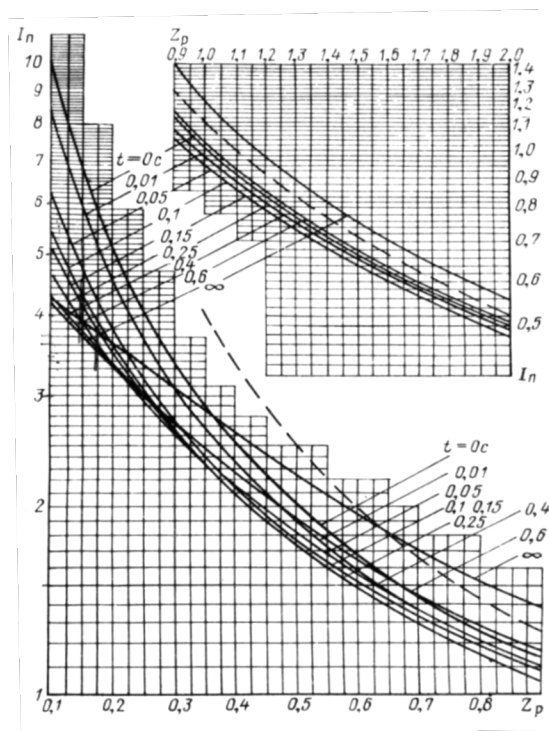


Рисунок 3.11 – Розрахункові криві для визначення періодичної складової струму КЗ СЕЕС залежно від результуючого опору кола КЗ і часу

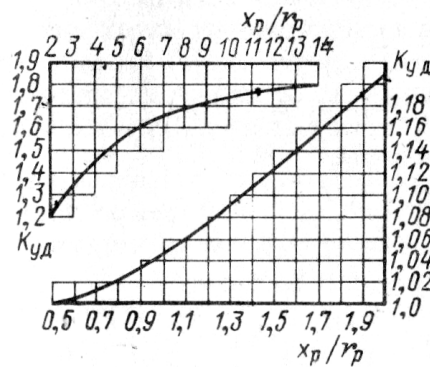


Рисунок 3.12 – Залежність ударного коефіцієнта $K_{уд}$ відношенням x_{10}/r_{10} .

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:

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

$$I_{розр} = \frac{3 \cdot 3574 + 3040}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6600 \cdot 0.8} \cdot 1000 = 752 A$$

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 s. Допустиму напругу для мідних шин при динамічних навантаженнях приймають рівним 14000 N/cm^2 , а максимально допустиму (короткочасну) температуру - 300° C .

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 $A_{\text{н}}=1.64 \cdot 10^4$.

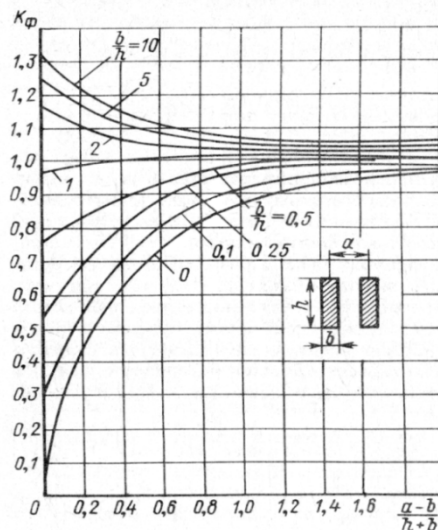


Рисунок 3.13 – Криві для визначення коефіцієнта форми

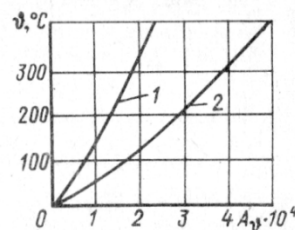


Рисунок 3.14 – Криві для визначення температури нагрівання струмопроводів
1- для алюмінію, 2 – для міді.

Значення параметра $A_{\text{к}}$, 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 $t_\phi = 2 \cdot 1.0 = 2 \text{ s}$.

$$A_k = 1.64 \cdot 10^4 + \frac{43287^2}{(100 \cdot 16)^2} \cdot 2 = 1.862 \cdot 10^4$$

Згідно кривим на рис. 3.7 значенню $A_n = 1.862 \cdot 10^4$ 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 HYUNDAI Hyundai Himsen 7H32/40 з номінальною напругою 6600 V виберемо систему збудження Basler Electric.

DECS-400 – це універсальна система цифрового керування збудженням синхронних генераторів та двигунів. Її можна гнучко застосовувати або для управління полем збудника, або для управління статичним збудником, розрахованим на 2500 А постійного струму, що ідеально підходить як для нових, так і для установок, що модернізуються. Компанія Basler Electric надає індивідуальні та стандартні рішення для різних умов застосування обладнання відповідно до конкретних вимог замовника та потреб у резервуванні.

Характеристики

- П'ять режимів керування з можливістю автоматичного стеження при перемиканні між режимами:

- AVR (автоматичне регулювання напруги);
- FCR (регулювання струму поля);
- PF (коефіцієнт потужності);
- FVR (регулювання напруги поля);
- Контроль реактивної потужності.

- Для кожного режиму є дві визначені уставки.

- Доступні різні варіанти резервування, включаючи подвійні контролери.

- Гнучке дистанційне керування уставками.
- Точність регулювання напруги 0,20%.
- Додатковий вбудований стабілізатор енергосистеми (PSS):
Подвійний вхід, функція інтеграла від прискорення потужності (IEEE PSS2A/2B/2C).
- Конформне покриття наноситься на певні внутрішні схеми для додаткового захисту та надійності.
- Налаштування стабільності, що виконується користувачем, з використанням двох груп налаштувань PID-керування.
- Компенсація реактивного падіння напруги, падіння напруги у лінії.
- Плавний пуск генератора з контролем напруги на етапі наростання.
- Система моніторингу в реальному часі з можливістю графічного відображення будь-яких 2 з 10 параметрів генератора, що вибираються.
- Узгодження напруги.
- Автоматичне стеження з використанням додаткової резервної системи DECS-400
- Вбудовані функції, що обмежують.
- Вбудовані функції захисту.
- Набір звітів, включаючи реєстрацію послідовності подій, реєстрацію даних та виявлення тенденцій.
- Синхронізація часу за допомогою протоколів IRIG або NTP через Ethernet.
- Плавний запуск.

Переваги

- Завдяки високому ступеню гнучкості та надійності система DECS-400 підходить для використання практично з кожним синхронне машинне обладнання.
- Програмне забезпечення BESTCOMS™ забезпечує легке і безпомилкове введення налаштувань. Програма надає програмовану логіку інтуїтивно зрозумілі налаштування з графіками, вбудованою перевіркою помилок та зведеними екрани.

- Не допускає серйозних пошкоджень генератора та покращує загальну стабільність системи, використовуючи інтегрований (додатковий) стабілізатор енергетичної системи (PSS), в якому застосовується «інтеграл від прискорення потужності» для безпечного демпфування коливань потужності в місцевому режимі, між зонами та між пристроями.

- Забезпечується максимальний контроль за процесами та проектуванням виробів, що призводить до найвищого рівня якості та максимальної надійності виробів, а також скорочення часу, необхідного для виконання замовлення.

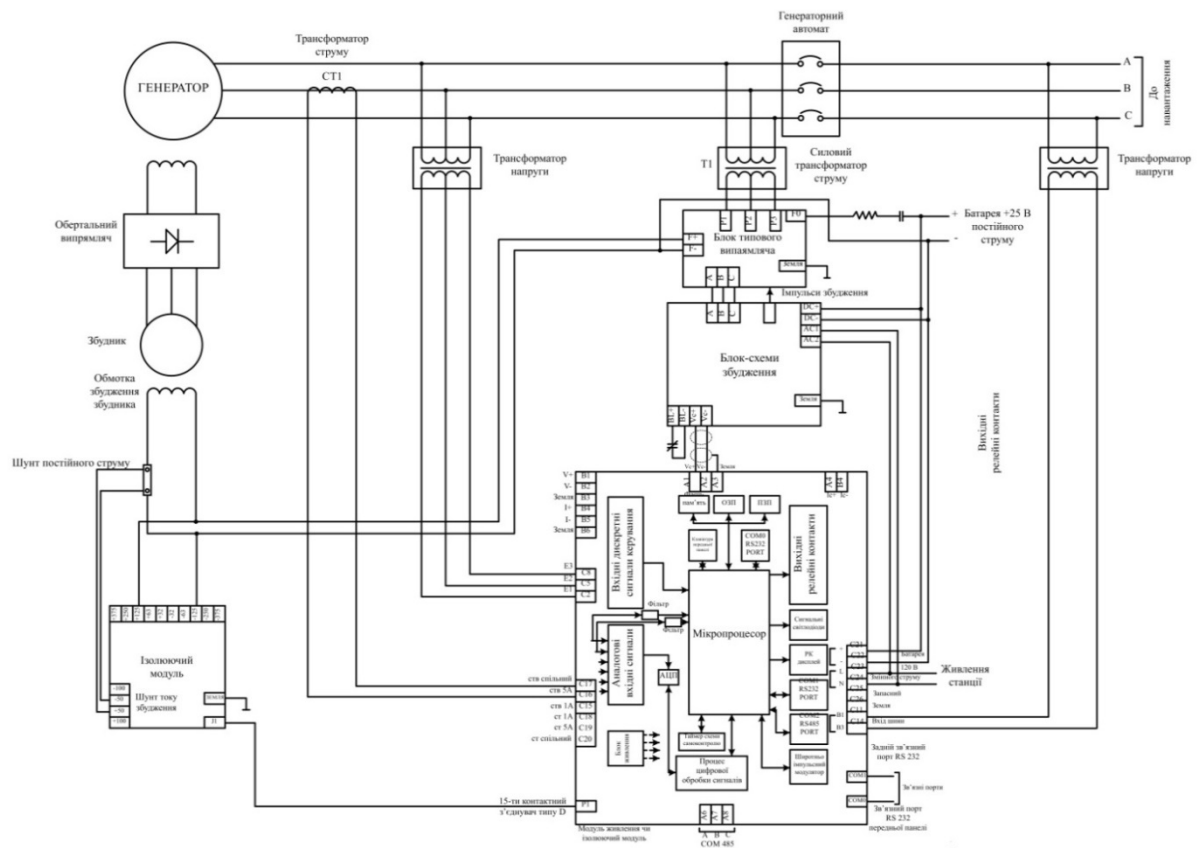
DECS-400 є контролером збудження з мікропроцесорним управлінням. Вона виробляє керуючі сигнали для контролю збудження (виходу) зовнішнього силового моста. DECS-400 призначена для роботи з силовими мостами SSE і SSEN від компанії Basler Electric, але вона буде також добре працювати з будь-яким силовим мостом, придатним для використання на синхронному генераторі / моторі, який має ланцюг збудження, здатну сприймати сигнали від DECS-400. DECS-400 може контролювати силові мости, які мають поточні можливості різних вихідних в діапазоні від 20 до 2500 А постійного струму при номінальному рівні напруги від 32 до 375 V постійного струму. Ці силові мости можуть бути частково під контролем або повністю контрольовані. Повністю керовані мости забезпечують більш швидке збудження поля генератора та більш швидку реакцію на короткочасне велике навантаження для відновлення напруги.

Принципова схема БСГ з системою збудження Basler Electric типу DECS-400 (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

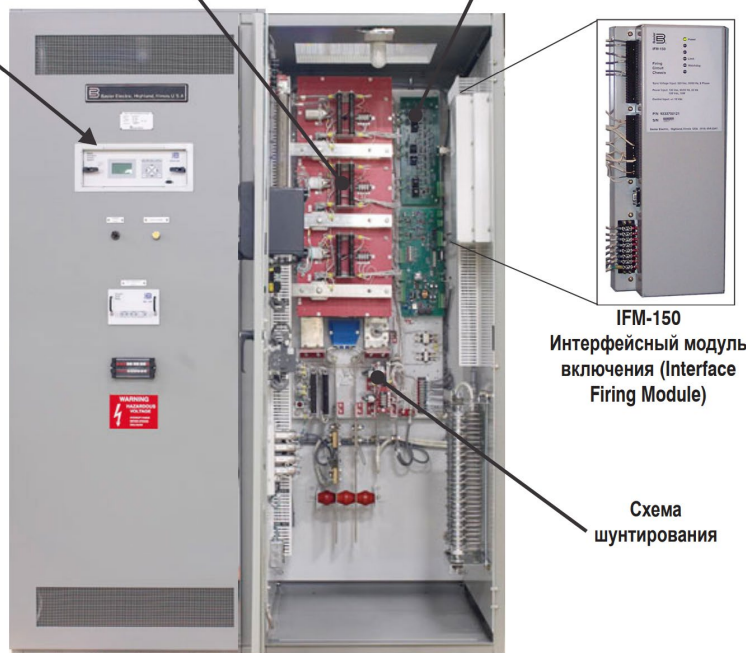
управління шунтуючим пристроєм та імпульсно-фазове управління тиристором.



DECS-400
Система цифрового
управления
возбуждением

Одинаний мост
с шестью SCR

Модуль
стробированного
усилителя



IFM-150
Интерфейсный модуль
включения (Interface
Firing Module)

Схема
шунтирования

Рисунок 3.15 – Принципова схема з'єднань системи збудження Basler Electric типу DECS-400 та зовнішній вигляд шафи при підключенні однієї обмотки збудження

Технічні характеристик

Струм збудження – До 2500 А постійного струму при різних схемах

Джерело живлення:

Вхід постійного струму: 24, 48, 125, 250 В постійного струму

Вхід змінного струму: 120, 240 В змінного струму

Навантаження: 50 ВА, 30 Вт

Вимірювання напруги генератора та шини

Конфігурація: 1-фазний або 3-фазний

Номінал: 120 або 240 В

Навантаження: <1 ВА

50 Гц Діапазон 1: 85-127 В змінного струму

50 Гц Діапазон 2: 170-254 В змінного струму

60 Гц Діапазон 1: 94-153 В змінного струму

60 Гц Діапазон 2: 187-305 В змінного струму

Чутливість струму генератора

Конфігурація: 2-фазний або 3-фазний

Діапазони виміру: 2 (до 400% від номінального значення)

Номінал: 1 або 5 А змінного струму

Навантаження: <1 ВА

Вимірювання

2 програмованих виходу

Вихідний діапазон: 4-20 мА постійного струму

Похибка:

Напруга генератора та шини: $\pm 1,0\%$

Частота: $\pm 0,1$ Гц

Струм у лінії генератора: $\pm 1,0\%$

Потужність генератора: $\pm 2,0\%$ (ВА, Вт, вар)

Коефіцієнт потужності: $\pm 0,02\%$ коефіцієнта потужності

Струм та напруга поля: $\pm 2,0\%$

Регулювання

Похибка:

Режим AVR: $\pm 0,2\%$

Режим FCR та FVR: $\pm 1,0\%$

Режим контролю реактивної потужності $\pm 2,0\%$

Режим контролю коефіцієнта потужності $\pm 0,02\%$
Опція резервування: подвійний контролер
Міст випрямляча
Опція форсування лише прямим полем: три SCR
Форсування прямим/зворотним полем: шість SCR
Опція резервування: Подвійні мости випрямлячів
Стабілізатор енергосистеми
(додаткове обладнання)
Робочий режим: генератор або двигун, фазування ABC або ACB
Конфігурація вимірювань: кількість обертів та потужність/тільки
кількість обертів
Вимірювання потужності: метод 2 або 3 ватметри
Діапазон частоти: реагування на коливання потужності від 01 до 5 Гц.
Фільтрування низьких і високих частот запобігає небажаному спрацюванню
PSS поза цим діапазоном.
Зв'язок
Com 0: RS-232, 9-контактний, sub D, ASCII
Com 1: RS-485, ASCII
Com 2: RS-485, Modbus RTU або TCP/IP
Com 3: 10Base-T Ethernet, RJ-45,
Modbus TCP/IP, BESTCOMS™
J1: Розміщена на задній панелі модемна розетка для RJ-11 допущена
відповідно до частини 68 Правил федеральної комісії зв'язку (FCC).

3.6 Перевірка кабелю одного з найбільш віддаленого електропривода на
втрату напруги

Розрахуємо втрату напруги в кабелі підрулюючого пристрою з робочим
струмом двигуна 193 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;

$k_{\text{п}}$ - поправочний коефіцієнт, враховуючий кількість жил в кабелю;

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

$k_{\text{т}^\circ}$ - поправочний коефіцієнт, враховуючий температуру навколишнього середовища;

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

Вибираємо паралельно прокладені два кабелі марки FA-ТРҮСҮ-150 (150 mm², 255 А на кабель) з ізоляцією із етиленпропиленсумарним перерізом жил 300 mm² з наступними характеристиками: $I_1=480$ А, $k_{\text{п}}=0.8$ для трижильного кабелю, $k_{\text{реж}}=1.3$ для ПВ 40% при $I_1=500$ А, $k_{\text{т}}=1$ для температури 45°C, $k_{\text{пр}}=0.85$ для випадку, коли доступ повітря утруднений, у нашому випадку прокладка кабелю проходить у кабельній трасі:

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

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

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

де ΔU – падіння напруги, %; l – довжина лінії, м; $I_{\text{розр}}$ – розрахунковий струм споживача, А; питома провідність міді $\gamma=48$ m/(Ohm·mm²); $U_{\text{н}}$ – номінальна напруга кола, V; s - переріз струмопровідних жил, mm².

Визначимо падіння напруги для вибраного кабелю: $s=300$ mm², $U_{\text{н}}=6600$ V, $I_{\text{роз.}}=193$ А, $l=250$ м.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 193 \cdot 250}{48 \cdot 6600 \cdot 300} \cdot 100 = 0.21 \text{ \%}.$$

Кабель вибраний вірно, тому що падіння напруги на лінії складає 0.21 %, 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 графік перехідних процесів в системі «Перетворювач частоти – асинхронний двигун» при вентиляторному навантаженні, який було отримано в попередньому розділі. Слід відзначити, що саме наприкінці пуску момент стає близьким до критичного, відповідно струм, споживаний від перетворювача та мережі живлення також стає максимальним та приблизно пропорційним кратності критичного моменту, тобто 2.2. Саме цю величину приймаємо за найбільший струм у мережі.

Початкові дані електроприводу підрулюючого пристрою:

- Сумарна потужність: 1970 kW;
- Номінальна напруга 6600 В;
- $\cos \varphi$: 0.89
- Номінальний струм: 201 А;

Генератор:

- Потужність 2880 kW / 3600 kVA;
- $\cos \varphi$: 0.8;
- Номінальний струм: 312 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.

$$P_n = \sqrt{3} \cdot \frac{6600}{1000} \cdot 201 \cdot 2.2 \cdot 0.89 = 4500 \text{ kW}$$

Оскільки потужність при пуску такого двигуна більше потужності одного генератора, то для роботи підрулюючим пристроєм необхідно запускати 2 генератори одночасно ($2 \cdot 2880 = 5760 \text{ kW} / 7200 \text{ kVA}$). 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:

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

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

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

K_n – кратність пускового струму двигуна.

З урахуванням того, що для роботи баутрастера використовується ДГ потужністю 3800 kVA, а ДГ потужністю 4467 kVA може запускатися під час запуску підрулюючого пристрою, отримаємо:

$$x_\partial = \frac{7200}{4500 / 0.89} \cdot \left(\frac{6600}{6600} \right)^2 = 1.424$$

Початкова напруга:

$$U_{нач} = \frac{x_\partial}{x_\partial + x'_d} = \frac{1.424}{1.424 + 0.0585} = 0.960 \quad (3.33)$$

Стала напруга:

$$U_{уст} = \frac{x_\partial}{x_\partial + x_d} = \frac{1.424}{1.424 + 0.509} = 0.737 \quad (3.34)$$

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

$$\tau'_d = \tau'_{d0} \cdot \frac{x_\delta + x'_d}{x_\delta + x_d} = 1.73 \cdot \frac{0.737}{0.960} = 1.329 \quad (3.35)$$

Час досягнення мінімального значення напруги для генераторів з самозбудженням.

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

З формули (3.36) $K=20$, а K_2 буде:

$$K_2 = \frac{x_\delta}{x_\delta + x_d} = \frac{1.424}{1.424 + 0.509} = 0.737 \quad (3.37)$$

$$t_{\min} = 1.29 \cdot \ln \left(\frac{0.960 - 0.737}{0.737 \cdot 20 \cdot 1.29} + 1 \right) = 0.01504 \text{ s}$$

Значення мінімальної напруги:

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

$$U_{\min} = 0.737 + (0.96 - 0.737) \cdot e^{\frac{-0.016}{1.29}} + 0.737 \cdot 2 \cdot \left[0.016 - 1.29 \cdot \left(1 - e^{\frac{-0.016}{1.29}} \right) \right] = 0.9574$$

Максимальний провал напруги:

$$\Delta U_{\max} = (1 - U_{\min}) \cdot 100\% = (1 - 0.9574) \cdot 100 = 4.26 \% \quad (3.39)$$

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

Для перевірки результатів скористуємось також можливостями сучасного програмного забезпечення. В новій версії Matlab є базова модель суднової електроенергетичної системи, до складу якої входить турбогенератор, дизель-генератор, моделі активних навантажень та модель баутрастера потужністю 1000 kW з прямим пуском.

Змінимо параметри та кількість дизель-генераторів і баутрастерів і, вважаючи, що прямий пуск є значно складнішим для СЕЕС, виконаємо розрахунок саме для такого режиму.

В моделі також враховуються кабелі (від дизель-генераторів по 50 метрів, міжсекції – по 100 метрів, до баутрастерів – 250 метрів), як довгі π -лінії з ділянками по 50 метрів, між окремими генераторами та споживачами. Тому динамічні процеси відрізняються у різних генераторів.

На рис. 3.17 наведено розрахункову модель СЕЕС, а на рис. 3.18 надано графіки перехідного процесу активної потужності найближчого та найвіддаленішого від баутрастерів генераторів. Прийнято, що баутрастери вмикаються послідовно на 50-й та 52-й секундах. Видно, що навантаження окремих генераторів відрізняються, але максимальні значення близькі і становлять 96 %.

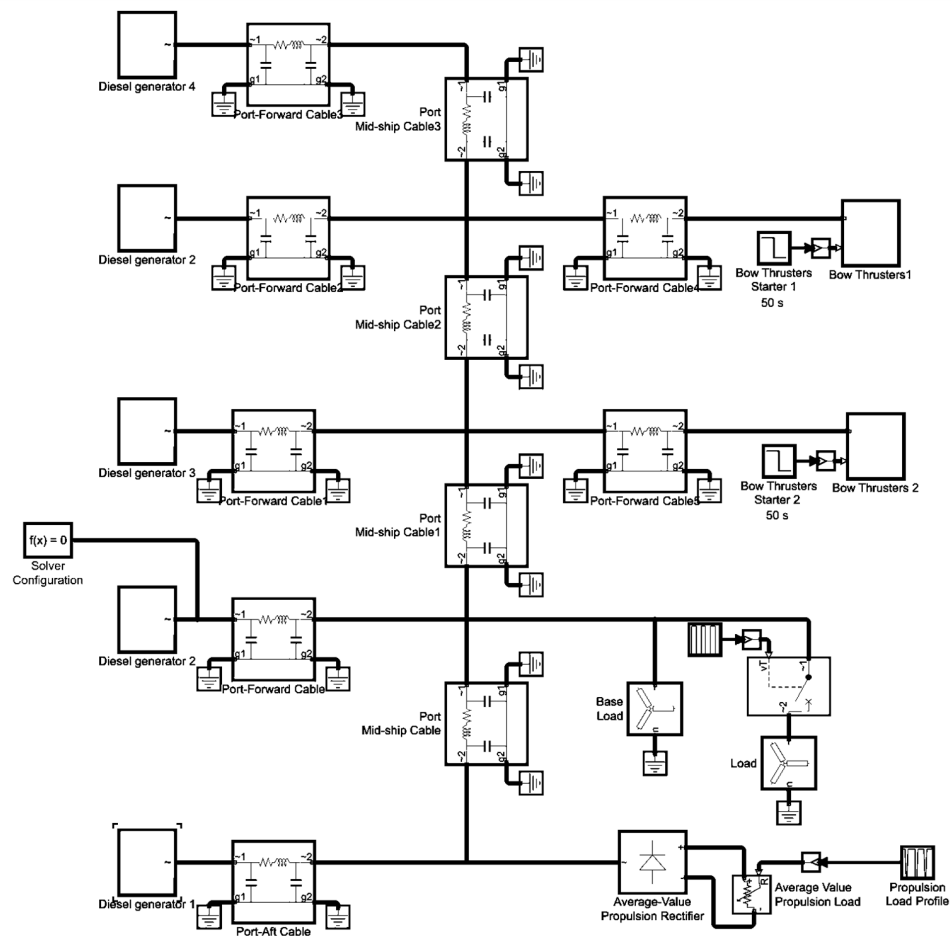
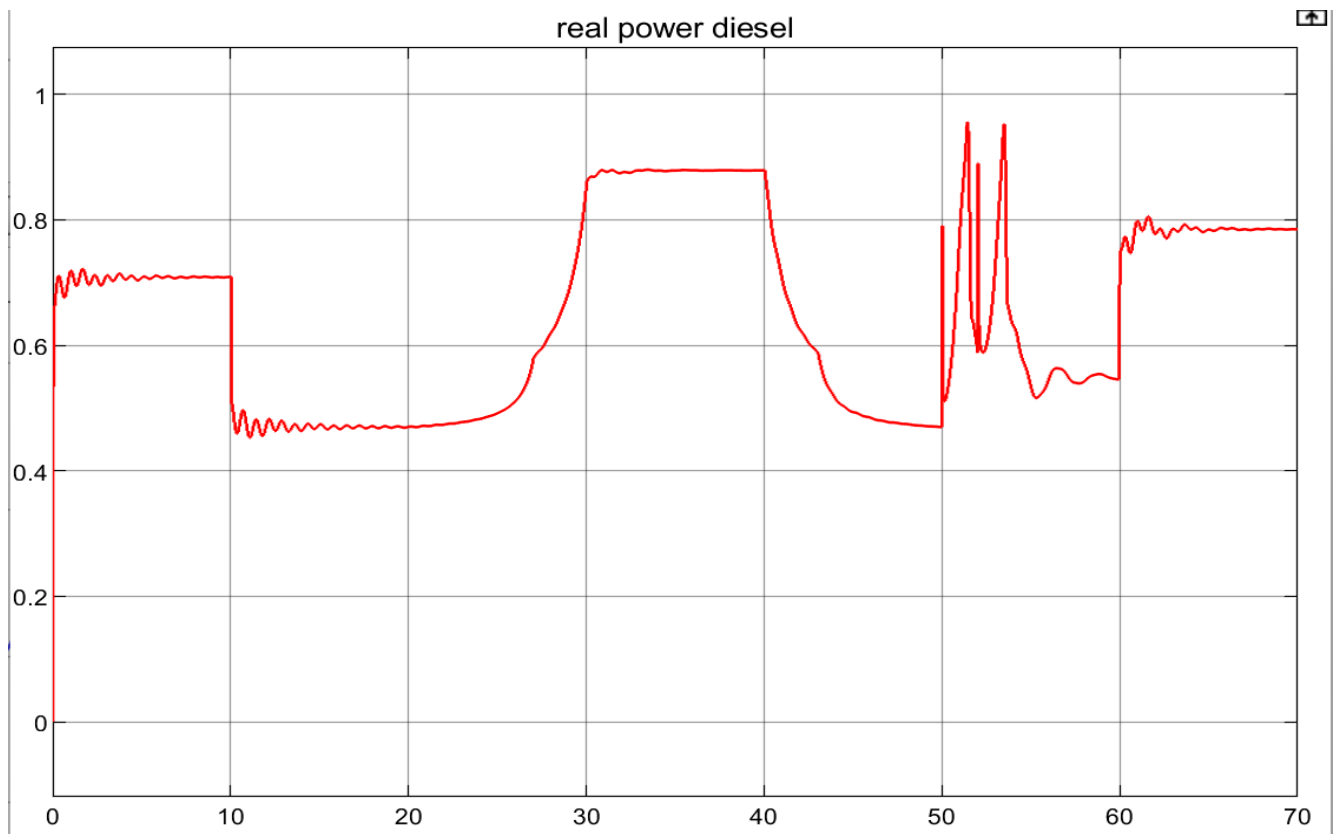
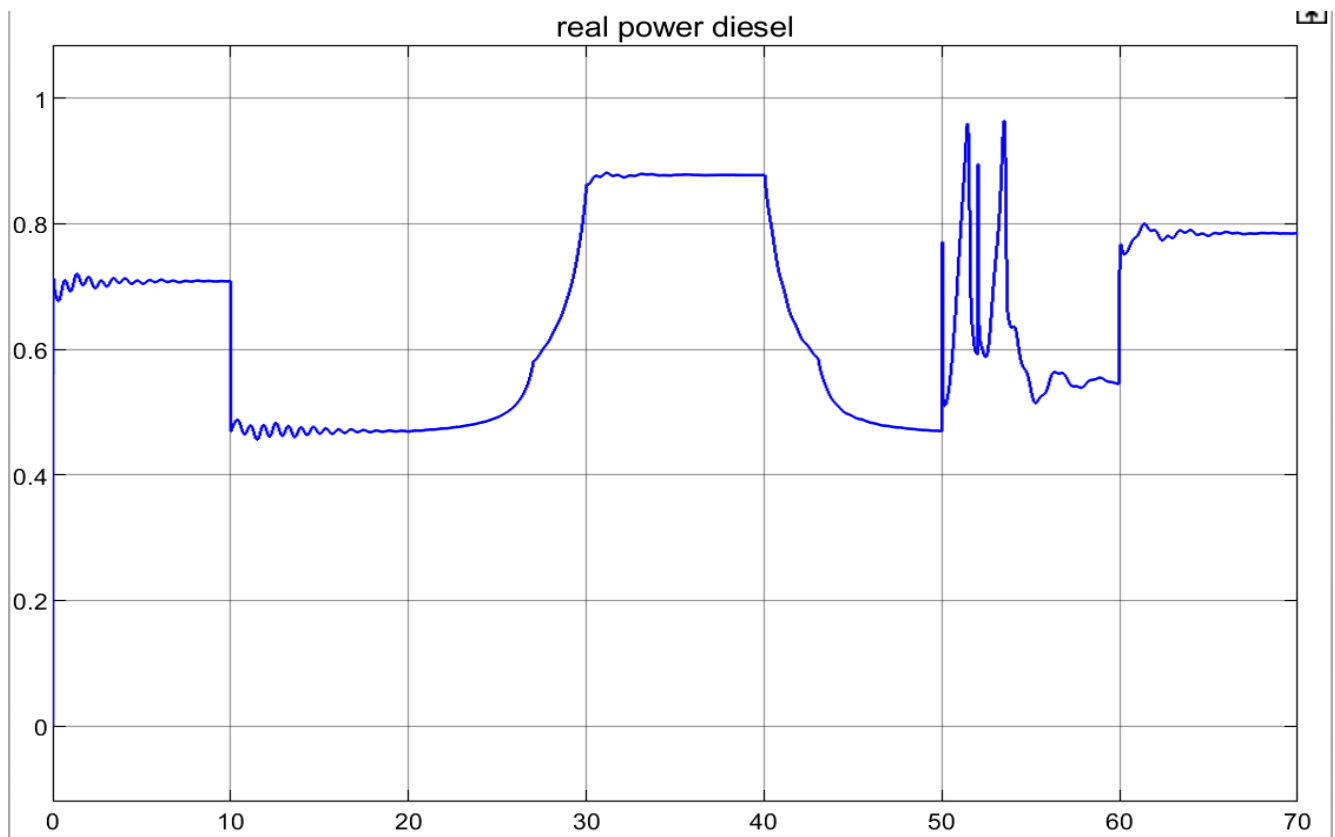


Рисунок 3.17 – Розрахункова модель СЕЕС



a)



б)

Рисунок 3.18 – Графіки перехідного процесу активної потужності найближчого (а) та найвіддаленішого від баутрастерів (б) генераторів

Також за допомогою процедури моніторингу знайдено падіння напруги на основній шині під час прямого вмикання баутрастерів (рис. 3.19).

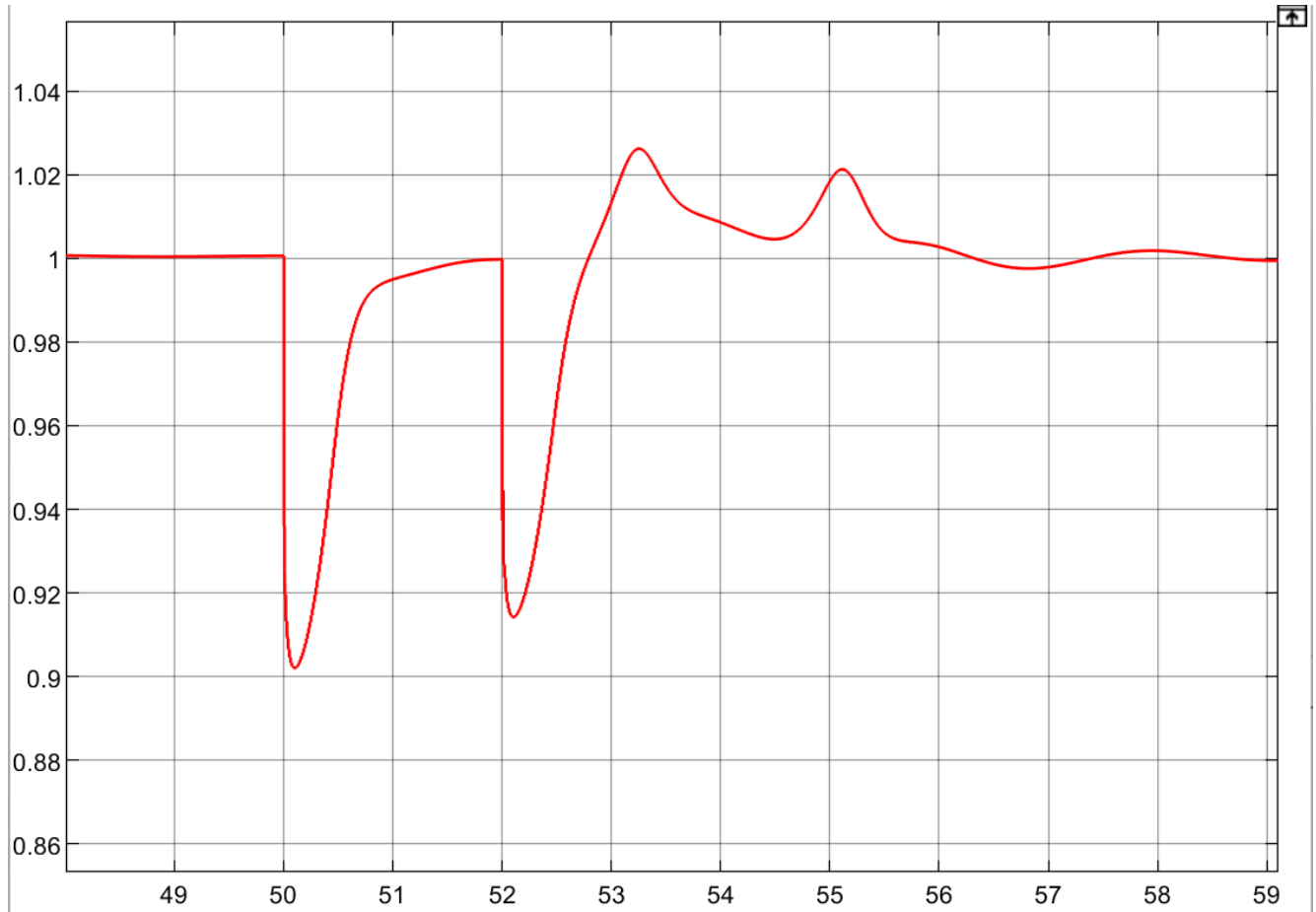


Рисунок 3.19 – Графіки переходного процесу напруги при прямому запуску баутрастерів

Бачимо, що в цьому разі падіння напруги майже 10%. Тобто прямий запуск баутрастерів навіть при роботі всіх 5-и генераторів неприпустимий.

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, середньовольтних і високовольтних енергетичних установках. Завдяки своїм вбудованим функціям захисту і можливостям призначеного для користувача інтерфейсу HMI пристрій є ефективним і вигідним рішенням для всіх типів електроенергетичних установок. Тому DEIF є основою системи автоматизації СЕЕС і вбудований в ГРЩ. Контролер зазвичай використовується з дисплейним модулем DU-delomatic4 та додатковою панеллю оператора Additional Panel Operator APO.

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

DM-4 мережі

Внутрішній зв'язок між контролерами електростанції організована по спеціалізованої 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:

PCM 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).

PCM 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).

IOM 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.

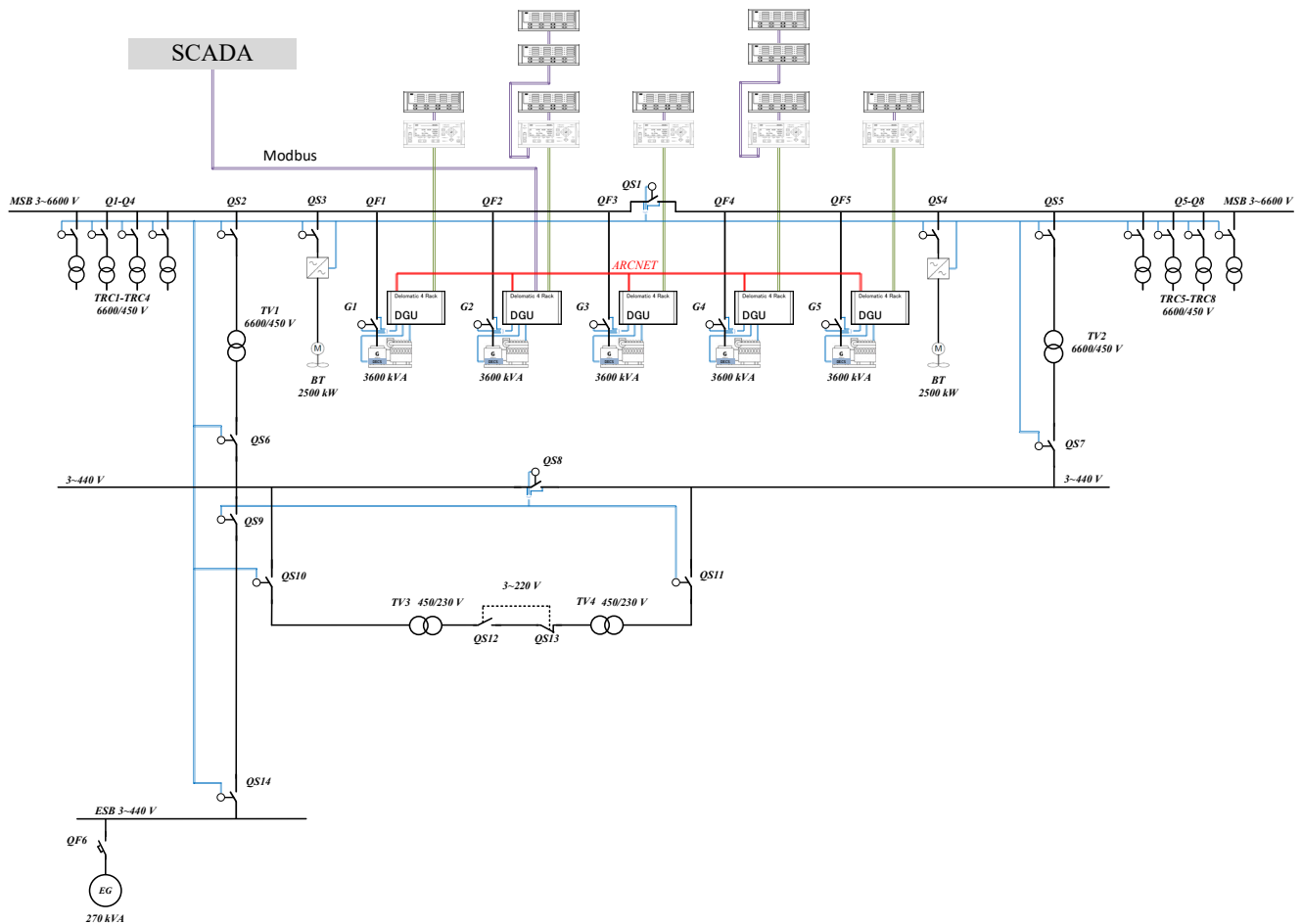


Рисунок 3.20 – Система автоматизації СЕЕС на базі контролерів DEIF delomatic4 DM4, display unit DU-delomatic4, additional panel operator APO

3.7.2. 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 (ARCNET). 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).

При управлінні електростанцією з системою PMS можливе завдання наступних режимів:

- Напівавтоматичний (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.

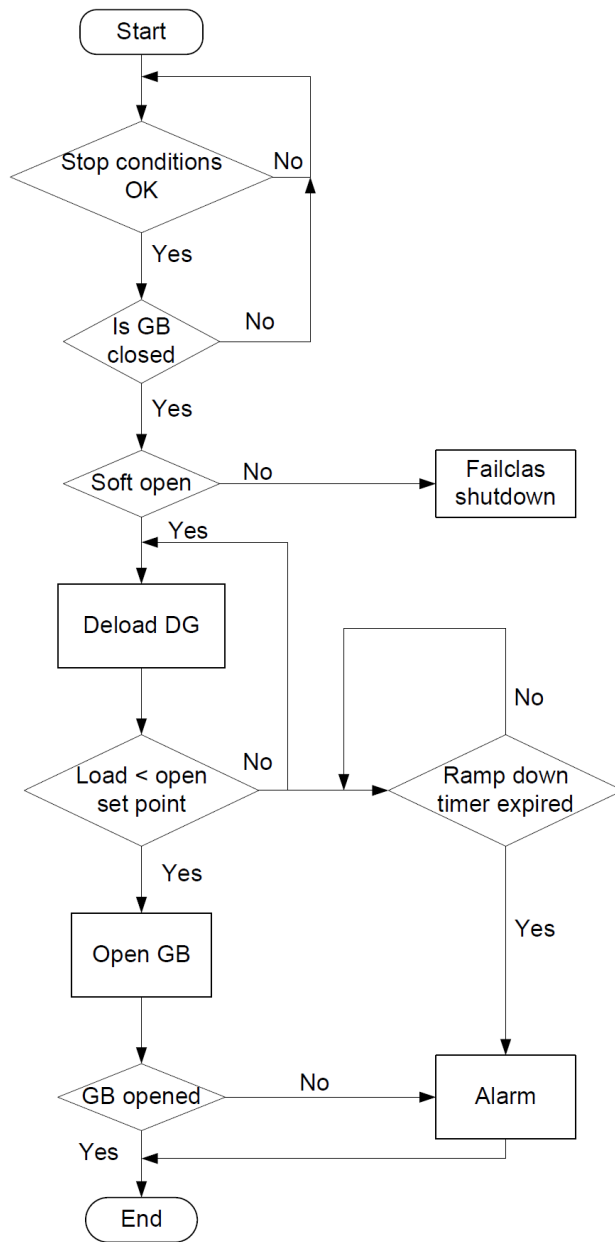
Режим ручного управління

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

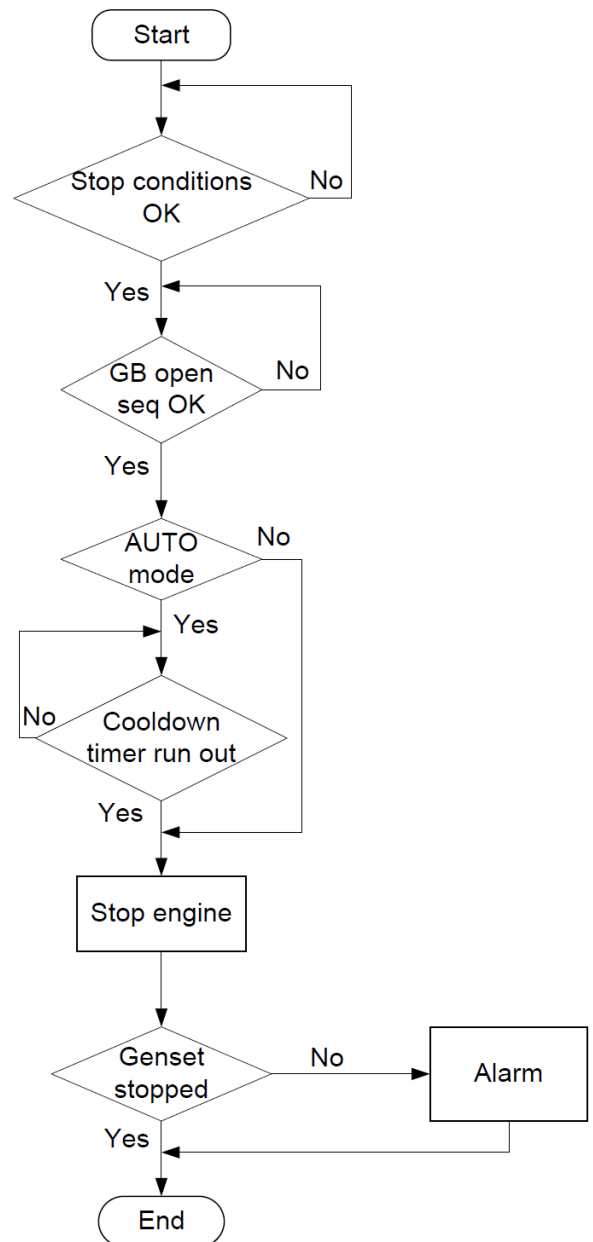
- Внутрішній контроль системи;
- Контроль параметрів дизеля;
- Контроль параметрів шин ГРЩ;
- Захист дизеля;
- Захист від КЗ;
- Відключення невідповідальних споживачів при перевантаженні ГА.

3.7.3. Функції зупинки, пуску та синхронізації дизель-генераторів

Ці функції включають в себе автоматичне керування обраним Diesel Generator та Generator Breaker. Алгоритми процедур надано на рис. 3.21, 3.22, 3.23.



a)



б)

Рисунок 3.21 – Алгоритмиупинки ДГ процедури відключення Generator Breaker (a) та зупинки ДГ (б)

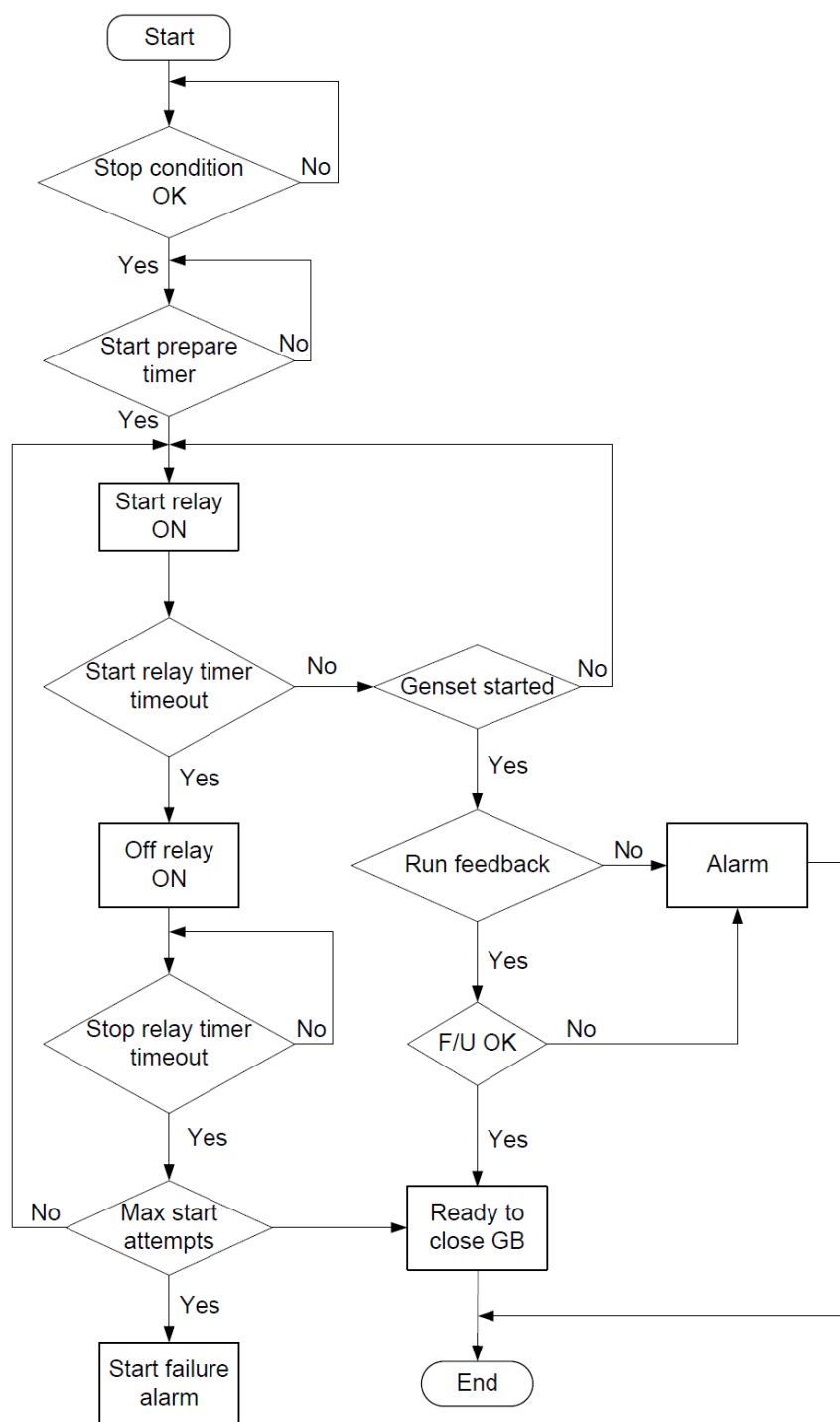


Рисунок 3.22 – Алгоритм запуска ДГ

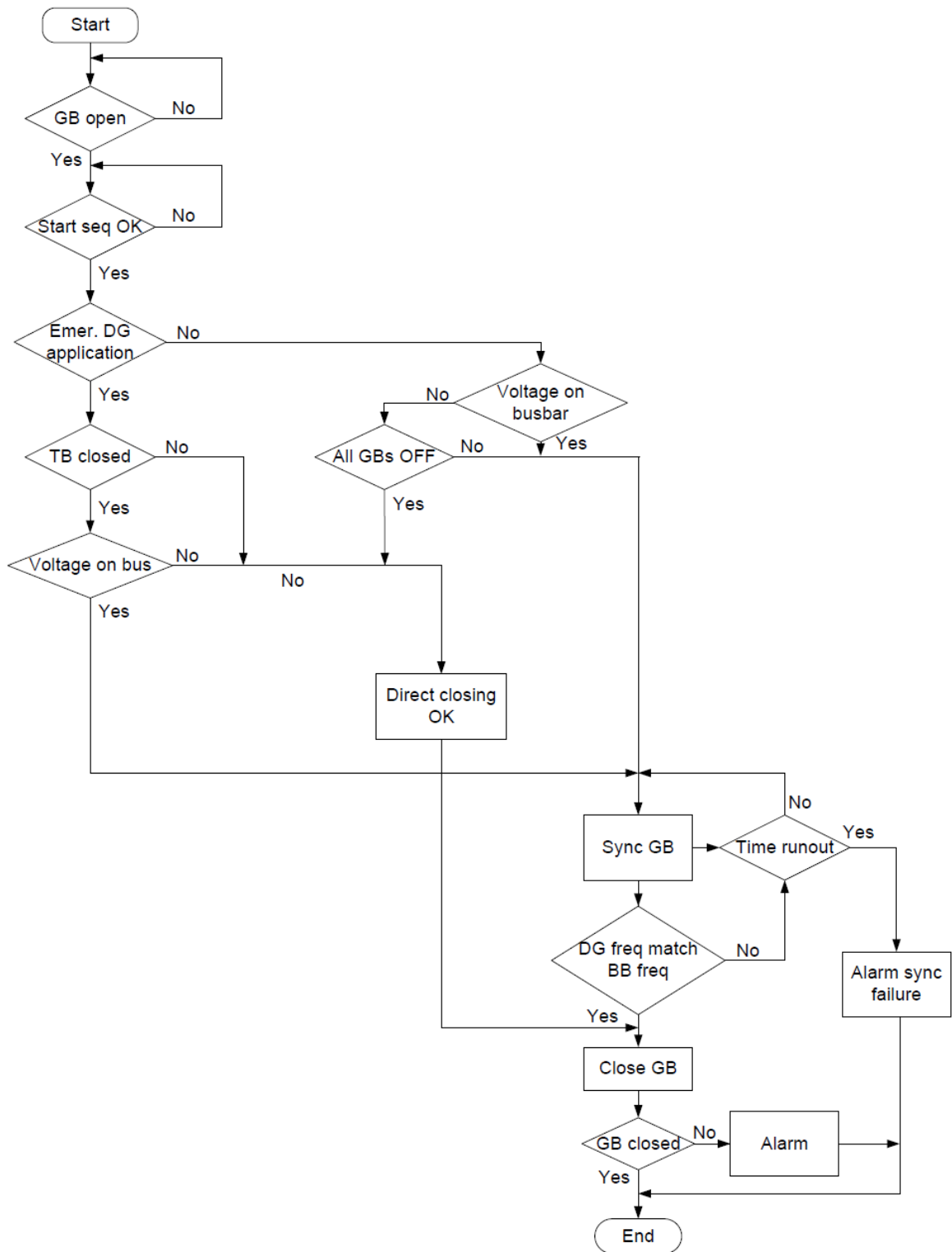


Рисунок 3.23 – Алгоритм вмикання Generator Breaker

4. АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА ПРИСТРОЇВ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

4.1. Система дистанційного управління ГД

Система дистанційного автоматизованого управління (ДАУ) двигуном типу 1x Sulzer 12RT-Flex96C-B - 2 stroke 12 cylinder 960 x 2.500 mm combustion engine 68.640 kW at 102,0 rpm забезпечує автоматизацію виконання алгоритмів пуску, реверса, зупинки, зміна режиму роботи двигуна відповідно до отриманої команди з ходового містка. Установка забезпечує захист двигуна, сигналізацію про несправності в системі й контроль за правильністю виконання команди.

Основні елементи ДАУ розташовуються в машинному відділенні, в ЦПУ й на ходовому містку. У машинному відділенні знаходиться гідравлічна система керування, повітряна система пуску, цифровий регулятор та електричний актуатор, блок безпеки ГД, датчики обертання валу ГД.

На сучасних транспортних засобах основні двигуни та часто і допоміжні дизель-генератори оснащені системами дистанційного автоматичного управління.

Система дистанційного автоматичного управління - сукупність пристроїв, що забезпечують роботу всіх механізмів, що обслуговують основний двигун, пуск двигуна, його розігрів, вихід на робоче навантаження, реверсування, зупинку, зміну швидкості і поточного контролю за роботою дизельного двигуна.

Сучасний судновий дизель є складним об'єктом регулювання. У загальному випадку в двигунах дизеля автоматично регулюються такі величини: частота обертання колінчастого вала; температури в системах охолодження, змащення, повітря наддуву; в'язкість важкого палива [1].

Головні виробники суднових двигунів таких фірм стали обладнувати випускаємі дизеля електронними регуляторами швидкості.

Ці регулятори є універсальними і їх можна використовувати не тільки в системах регулювання частоти обертання валу двигунів, але і в системах регулювання температури, тиску та інших параметрів.

Головні судові двигуни, що призводять в обертання гребні гвинти (або безпосередньо, або через проміжну передачу - зубчасту, гідравлічну або електричну), працюють зі змінним числом обертів. Кожній швидкості ходу судна відповідає певна потужність і число обертів гребного гвинта, а отже, потужність і число обертів вала двигуна.

Системи автоматичного захисту оберігають судові двигуни від аварій, пов'язаних з перевантаженням або з порушеннями нормальної роботи систем охолодження і мастила. Автоматичний захист при аварійній ситуації активно втручається в процес управління двигуном.

У ряді заходів щодо підвищення безпеки мореплавання особливе місце займає проблема вдосконалення автоматизованих систем дистанційного керування судовими дизелями. Це пояснюється тим, що автоматизація управління дозволяє скоротити обслуговуючий персонал, сприяє маневреності судна і підвищення моторесурсу двигуна.

Впровадження автоматизації призводить до збільшення числа контрольно-вимірювальних приладів, розширення ЦПУ і ускладнення спостереження за ними. Впровадження мнемосхем дозволяє згрупувати прилади та пульти по окремим секціям [2].

Система дистанційного автоматизованого управління (система ДАУ) типу Alphatronic 2000 PCS судовим головним дизелем призначена: для пуску, зупинки і реверсу головного дизеля (ГД); для управління частотою обертання ГД на ходових режимах. Сучасні системи автоматизації судових головних дизелів є електричними.

Обробка інформації та формування алгоритмів управління ГД в цих системах виробляється в мікропроцесорах. На рис. 4.1 наведено схему дистанційного автоматизованого управління (система ДАУ) типу Alphatronic 2000 PCS судовим головним дизелем.

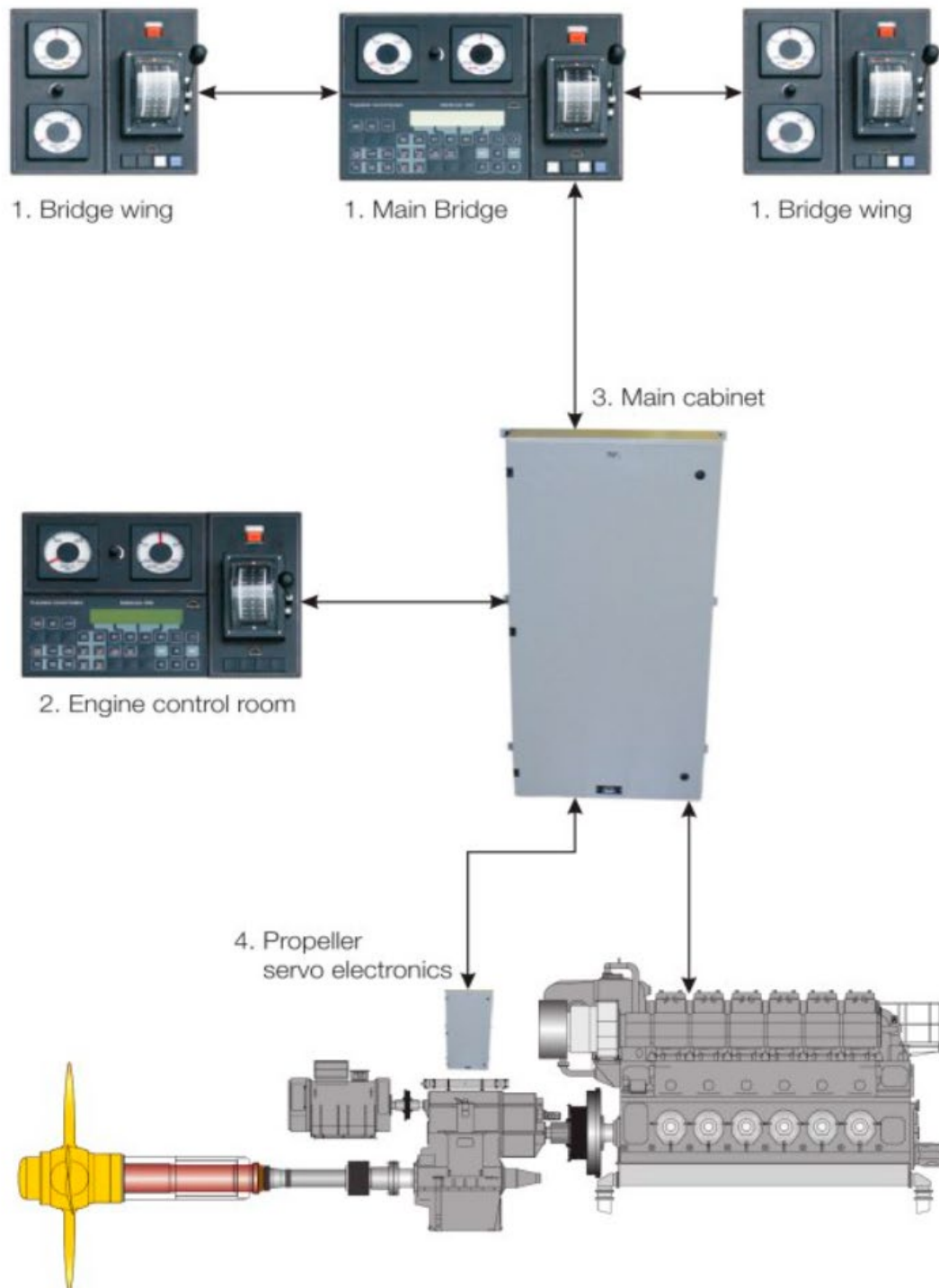


Рисунок 4.1 – Принципова схема дистанційного автоматизованого управління ГД типу Alphatronic 2000 PCS

Система автоматизації головного дизеля включає в себе:

- Систему машинних телеграфів;
- Реєстратор маневрів ГД (друкувальний пристрій);
- Модуль управління ГД на містку;

- Головний модуль управління (в ЦПУ);
- Систему управління частотою обертання ГД;
- Систему захисту ГД.

Система ДАУ автоматично виконує всі операції виведення ГД на заданий режим. Якщо в початковому стані ГД був в зупиненому стані, система ДАУ проводить автоматичний пуск дизеля [3].

На рис. 4.2 наведена схема керування параметрами ГД судна, де основна маневрова панель поста управління судном підключена до головної шафи системи дистанційного керування.

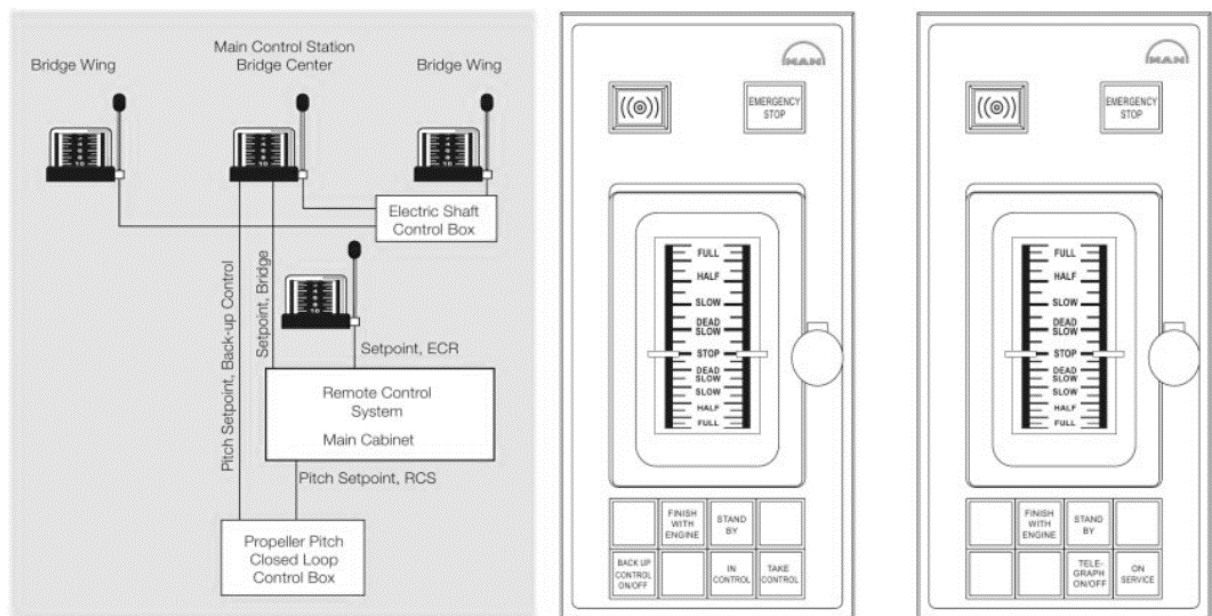


Рисунок 4.2 – Схема підключення до головної шафи системи дистанційного керування ГД

На рис. 4.3 надано варіанти компоновки системи.

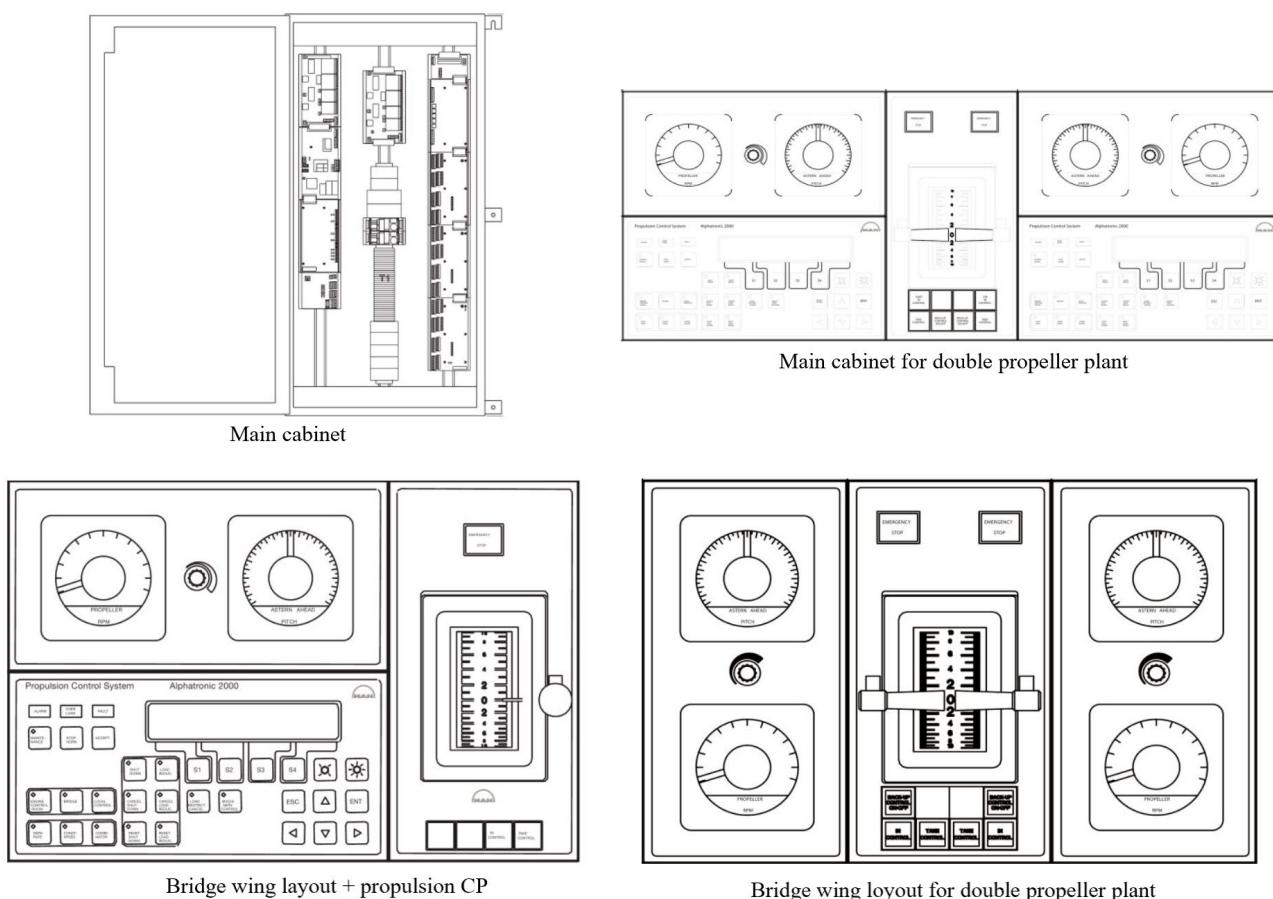


Рисунок 4.3 – Варіанти компоновки елементів системи Alphatronic 2000 PCS

Спеціальна суднова система управління Alphatronic 2000 PCS має такі переваги:

- Безпечний контроль силової установки та надійне маневрування судном.
- Економічна операція завдяки оптимізованій контроль навантаження двигуна / гвинта.
- Швидка реакція системи та ефективність маневреності гребного гвинта.
- Зміни навантаження, контрольовані таким чином, який завжди дотримується частота обертання двигуна в межах необхідного діапазону, і таким чином запобігає затемненню під час роботи валу генератора.
- Хороші довгострокові характеристики двигуна через захист від перевантаження.

- Тепловий захист двигуна через контрольовані запуснені програми.
- Екологічність завдяки збалансованій динаміці маневрування під час прискорення з мінімальним викидом диму.
- Гнучкість та індивідуальне налаштування завдяки принципам модульної системи.
- Підтримка проекту, проста установка процедури та безпечне введення в експлуатацію.
- Мінімальне обслуговування та обслуговування системи згідно вимог.
- Завдяки зручним для користувача функціям оператора до логіки та ергономічного дизайну панелі управління [3].

Система управління головним силовим агрегатом Alphatronic 2000 PCS призначена для рушійних суднових установок.

4.2. Система автоматизації судна

Оснoву системи автоматизації судна складає система контролю суднової електроенергетичної системи, побудовану на базі зв'язаних в загальну систему контролерів DEIF Delomatic-4, яку детально описано в розділі 3.

Суднова комп'ютерна мережа інформаційних і управляючих систем складається з трьох рівнів:

1. Рівень датчиків;
2. Контролерний рівень;
3. Диспетчерський рівень.

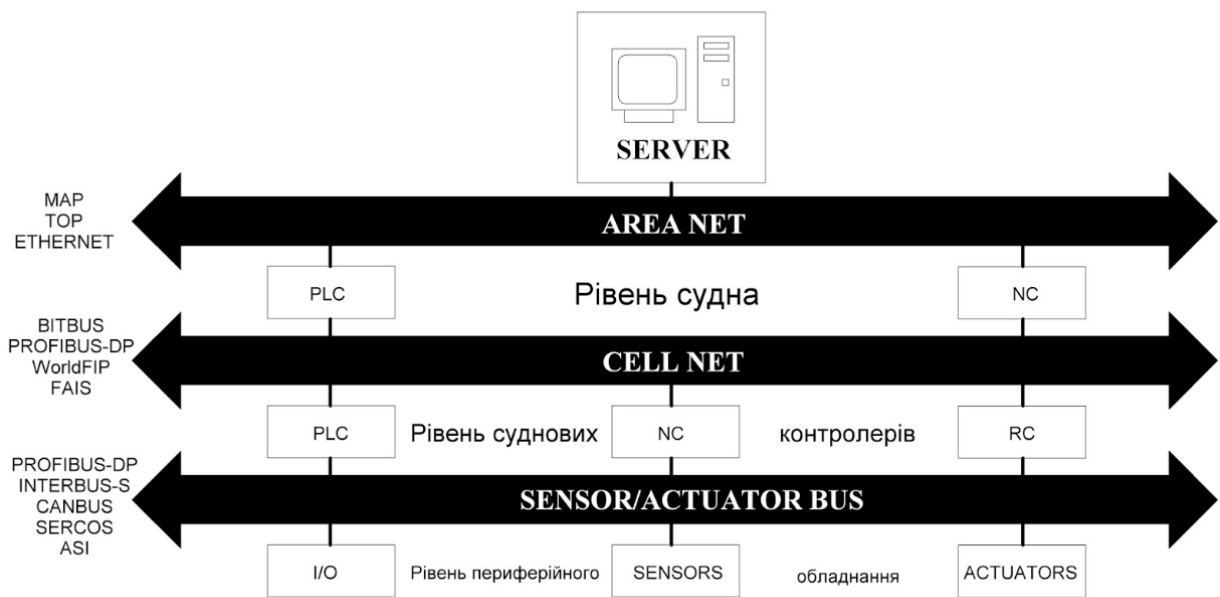


Рисунок 4.4 – Архітектура суднової комп'ютерної мережі

Однією з головних частин суднової комп'ютерної мережа інформаційних і управляючих систем є OPC сервер. OPC – це набір повсюдно прийнятих специфікацій, що надають універсальний механізм обміну даними в системах контролю і управління. Аббревіатура OPC розшифровується як OLE for Process Control. OLE – Object Linking and Embedding (зв'язування і вбудовування об'єктів). OPC-сервер – програма, яка отримує дані у внутрішньому форматі пристрою або системи і перетворює ці дані в формат OPC. OPC-сервер є джерелом даних для OPC-клієнтів. За своєю суттю OPC-сервер – це універсальний драйвер фізичного обладнання, що забезпечує взаємодію з будь-яким OPC-клієнтом. OPC-клієнт – програма, яка приймає від OPC-серверів дані в форматі OPC. В рамках цієї технології OPC-сервери збирають дані від контролерів і надають їх OPC-клієнтам (наприклад, SCADA-системам). Будь-який OPC-клієнт може обмінюватися даними з будь-яким OPC-сервером незалежно від специфіки пристрою, для якого розроблявся конкретний OPC-сервер. Для того щоб уникнути розбіжності між диспетчерами, тільки один або два диспетчери можуть бути головними, а інші діють з угоди головних.

Рівень датчиків включає датчики і та інші виконавчі пристрої: датчики тиску, датчики рівня, електрогідравлічні клапани, датчики температури, реле. Також на цьому рівні присутні інтелектуальні датчики. Датчики і виконавчі пристрої працюють на базі інтерфейсу (ASI).

Контролерний рівень включає в себе PLC (програмовані логічні контролери) на базі Profibus. OPC-сервер надає можливість звернутися до контролера з іншої програми (наприклад, конфігуратора). Відбувається транзит пакетів через OPC-сервер від іншої програми до контролера і назад через мережу. Також OPC-сервер постійно опитує контролери. Як тільки надходить запит від іншої програми, яка підключилася до OPC-сервера, OPC-сервер зупиняє обмін даними і направляє запит, отриманий від конфігуратора, на контролер. Відповідь контролера, в свою чергу, направляється конфігуратору.

Диспетчерський рівень складається з виконавчих суднових комп'ютерів, через які проводиться спостереження за технологічними процесами та збирається та архівується інформація.

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 (ЦІВ) 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 156,3МГц (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 оснащене 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 радіообладнання 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, мікродіафонною слухавкою і вбудованим або виносним гучномовцем;
- пристрій ЦІВ (вбудоване або окреме);
- приймач для несення безперервної вахти ЦІВ на частоті ліха 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 ще 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 буквопечатання (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 (ХІ), 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 TOKIMEC 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 судах 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 напруженням 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 напруженням 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

4.

5. Питання цивільного захисту та охорони праці.

Робота з високовольтними частотними перетворювачами

Перетворювач частоти - пристрій, який дозволяє змінювати частоту електричного струму та напруги. При роботі з ним, як і з будь-якою електротехнікою, необхідно дотримуватись правил техніки безпеки на робочому місці. Правильний монтаж та експлуатація не тільки дозволить довго використовувати частотний привід, але й запобіжить травмам, пошкодженню обладнання та нещасним випадкам. Не беріться за монтаж та підключення приладу, якщо не маєте досвіду роботи. Зверніться до спеціаліста в даній галузі.

Правила техніки безпеки: насамперед уважно огляньте прилад та прочитайте інструкцію. Він не повинен мати жодних пошкоджень. Зверніть увагу, що перетворювач частоти повинен відповідати призначенню. Для цього подивіться в паспорті пристрою номінальний вихідний струм, вхідну та вихідну потужність та звірте їх з типом приладу.

Встановлювати перетворювач необхідно в захищеному від прямого сонячного проміння і вібрації місці при температурі повітря від -10 до +50°C. Заборонено встановлювати його в місцях з підвищеною вологістю, у скупченнях пилу або масляного конденсату. Розташуйте перетворювач на рівній негорючій поверхні. Закріпіть пристрій болтами та гвинтами.

Підключайте пристрій за допомогою мідних проводів із кільцевими затискачами. Вони повинні бути оснащені ізолюючими ковпачками. Якщо ви під'єднуєте перетворювач до кількох двигунів, не використовуйте трижильний кабель і кабель довжиною понад 500 м. Кабель не повинен мати механічних пошкоджень. Використовуйте фільтр, який захистить розташовану поблизу перетворювача техніку від електромагнітних перешкод.

Перед запуском та експлуатацією приладу обов'язково перевірте у справності двигуна та його ізоляції. Не залишайте всередині приладу шматки

з'єднувальних дротів. Не допускайте потрапляння всередину корпусу пуху, дерева та будь-яких горючих матеріалів, оскільки прилад може спалахнути.

Робота з високовольтними судновими частотними перетворювачами."Перед виконанням монтажу пристрою уважно вивчіть інструкцію" - такі слова є у кожному документі на прилад, але читають їх люди зазвичай після того, як прилад прийде у несправний стан. Та й зрозуміло - адже інструкція "велика і товста книга".Перед встановленням перетворювача частоти необхідно переконатись, що монтаж проводять кваліфіковані спеціалісти. Також необхідно перевірити комплектність та справність приладу. У разі порушення цих вимог прилад може бути пошкоджений, також можуть бути пошкоджені елементи мережі, увімкнені спільно з приладом. У процесі монтажу необхідно виключити контакт приладу з матеріалами. Це може призвести до пожежі. Необхідно також переконатися, що виконання перетворювача частоти відповідає умовам експлуатації. Насамперед це відноситься до вимоги щодо захисту від пилу та вологи та вибухозахисності. Окрему увагу у процесі монтажу необхідно звернути на систему охолодження. У процесі роботи перетворювачі виділяють значну кількість тепла. Це тепло має ефективно відводитись від приладів.

Окреме питання при монтажі – підключення проводки. Цей процес має відповідати таким вимогам:

Підключення проводів має виконуватися при вимкненому живленні. Персонал, який виконує підключення, повинен мати відповідну кваліфікацію та допуск. Система заземлення до якої підключається прилад має бути надійним.

Забороняється подавати вхідну напругу на вихідні шини перетворювача. Як правило, вихідні шини позначаються U, V, W. Якщо вхідна напруга потрапить на вихідні шини, велика ймовірність пошкодження перетворювача.

Ще одна поширена помилка, через яку "гинуть" перетворювачі в момент монтажу - потрапляння сторонніх предметів у корпус приладу. Ключі, гайки, гвинти або інші предмети, що потрапили на плати керування або силові

елементи з високою ймовірністю призводять до пошкодження перетворювача. Для виключення нещасних випадків при роботі з перетворювачем частоти, щоб уникнути травм та пошкодження пристрою, потрібне суворе дотримання правил електробезпеки. Монтаж НП та його подальше підключення повинні здійснюватися лише досвідченими фахівцями. До того, як ви запланували встановлення ЧП, слід уважніше ознайомитися з пристроєм, переконатися в тому, що під час транспортування обладнання ЧП не було пошкоджено. Слід переконатися у правильності вибору ЧП для конкретних потреб, додатково вивчивши за паспортними даними потужність входів та виходів пристрою, параметри номінального вихідного струму та тип приладу. Установка частотного перетворювача Установчі роботи виконуються до підключення проводів, у місцях, де немає вібрації та прямих сонячних променів. Монтажні роботи проводяться за температури навколишнього середовища від -10 до +50 градусів Цельсія. Монтаж не слід вести у місцях великого скупчення пилу та водного чи масляного конденсату. ПП під час експлуатації схильний до сильного нагрівання, тому його слід встановлювати на вільно, рівній, негорючій поверхні. Якщо для охолодження ПП застосовується вентилятор, який встановлений на панелі, то для чіткої підтримки необхідного температурного режиму, він позиціонується за певними правилами, які забезпечують відмінне розсіювання тепла. Добре закріпленням вважається така ПП, яка фіксується до поверхні гвинтами або болтами. Підключення ЧП слід підключати, використовуючи мідні дроти, із заявленими параметрами 600В, 750 градусів Цельсія та більше, які оснащені кільцевими затискачами з ізолюючими ковпачками. Якщо перетворювач частоти приєднується до кількох електродвигунів, використання трижильного кабелю суворо заборонено, інакше може відбуватися мимовільне спрацювання пристрою від надструмів. Вкрай небажано застосовувати кабелі, довжина яких перевищує п'ятсот метрів. Кабель, який використовується для підключення, не повинен мати зовнішніх пошкоджень або подряпин. Близько розташоване електронне обладнання з ЧП, передбачає використання фільтра. Перед

початком експлуатації обладнання та безпосередньо перед пуском, слід переконатися у працездатності електродвигуна та якості його ізоляції. Щоб уникнути некоректної роботи обладнання, а також його поломки заборонено у внутрішній частині корпусу залишати шматки з'єднувальних проводів. Під час закріплення клем гвинтами слід пам'ятати, що сильна затяжка здатна зруйнувати клема, а слабка призвести до короткого замикання. Причиною мимовільного загоряння ЧП можуть стати шматки дерева, що потрапили всередину пристрою, пух та інші легкозаймисті матеріали. Клеми до двигуна слід підключати з точним дотриманням полярності, при цьому враховувати допустимий діапазон значень напруги кожної клема. Неправильне підключення призводить до виходу з ладу НП. Під час пробного запуску функції авторестарту не можна перебувати в безпосередній близькості з двигуном, оскільки його запуск відбувається автоматично. Категорично забороняється внесення будь-яких змін до конструкції ЧП. Під час роботи НП забороняються будь-які технічні роботи, пов'язані з електропроводкою. Заборонено торкатися різних компонентів інвертора або плат приладу в той час, коли він знаходиться під напругою. Не варто знімати кришку ЧП після того, як на нього буде подано харчування, у цьому випадку виникає небезпека ураження електрострумом. Забороняється запуск ЧП також тому, що виникають ризики вибуху заряджених конденсаторів. Навіть тоді, коли на частотник не подається напруга, не слід знімати кришку, оскільки завжди залишається ризик ураження струмом через контакт із зарядженим ланцюгом. Усі ці заходи мають проводитися лише під час планових робіт. При виході з ладу ЧП слід від'єднати живлення, що подається на вхід приладу. Категорично забороняється підключення пошкодженого або некомплектного перетворювача в мережу через небезпеку ураження струмом. Після відключення ПП або після його запуску пристрій знаходиться в гарячому стані протягом декількох хвилин, тому, щоб уникнути опіків, слід дотримуватися всіх необхідних запобіжних заходів.

Напруга перетворювача частоти небезпечна, якщо він підключений до мережі. Неправильний монтаж двигуна, перетворювача частоти або шина fieldbus може стати пошкодження обладнання, серйозних травм персоналу або навіть смерті. Тому слід виконувати вказівки цього керівництва, а також державні та місцеві правила та норми з техніки безпеки.

Правила техніки безпеки

1. При виконанні ремонтних робіт перетворювач частоти має бути відключений від мережі живлення. Переконайтеся, що мережа живлення змінного струму вимкнено і що витримано необхідний час перед зняттям двигуна та роз'ємів мережевого живлення.

2. Кнопка [STOP/RESET] на LCP на панелі керування перетворювача частоти не відключає пристрій від мережі, а отже, її

не можна використовувати як захисний вимикач.

3. Слід правильно виконувати захисне заземлення: користувач повинен бути захищений від напруги живлення, а двигун – від перевантажень відповідно до чинних державних та місцевих норм.

4. Струми витoku на землю перевищують 3,5 мА.

5. Захист від перевантаження встановлюється за допомогою пар. 1-90 Тепловий захист двигуна. Якщо ця функція потрібна, встановіть пар. 1-90 Тепловий захист двигуна для параметра [ЭТР отключение] (значення за промовчанням) або [ЭТР предупреждение].

Примітка. Ця функція ініціалізується при струмі електродвигуна, що дорівнює номінальному струму, помноженому на 1,16, і

номінальної частоти електродвигуна. Для Північної Америки: Функції ЕТР забезпечують захист двигуна від навантаження за класом 20 згідно з вимогами NEC.

6. Забороняється роз'єднувати роз'єми електродвигуна та мережі живлення, поки перетворювач частоти підключений до мережі. Переконайтеся

у тому, що мережа живлення змінного струму відключена і що витримано необхідний час перед зняттям двигуна та роз'ємів мережевого живлення.

7. Майте на увазі, що при розділенні навантаження (приєднання проміжного ланцюга постійного струму) та наявності зовнішньої напруги 24 перетворювач має не тільки входи напруги L1, L2 і L3. Перш ніж приступати до ремонтних робіт, переконайтеся, що

всі входи напруги від'єднані і після цього пройшов достатній час.

Монтаж на великій висоті над рівнем моря: 380 - 500 В, корпус А, В і С: При висоті над рівнем моря понад 2 км, зв'яжіться з Danfoss щодо захисного наднизу напруги. 380 - 500 В, корпус D, E і F: При висоті над рівнем моря понад 3 км, зв'яжіться з Danfoss щодо наднизького захисного напруги.

Запобігання мимовільному запуску

1. Коли перетворювач частоти підключений до мережі, двигун можна зупинити за допомогою цифрових команд, вступників по шині, завдань або місцевого зупинки. У випадку, якщо з міркувань безпеки персоналу необхідно запобігти мимовільному запуску, зазначених способів зупинки недостатньо.

2. Під час зміни параметрів електродвигун може запуститись. Тому слід натиснути кнопку [STOP/RESET],

після цього можна змінювати параметри.

3. Зупинений двигун може запуститися або через несправність електроніки в перетворювачі частоти, або при зникненні тимчасового навантаження або відмови в електромережі живлення або в ланцюгу підключення двигуна.

Переконайтеся також, що всі інші входні джерела напруги, такі як зовнішнє живлення 24 В =, розділення навантаження

(підключення проміжного ланцюга постійного струму), а також двигун кінетичного резервного живлення. Додаткові рекомендації

з техніки безпеки див. в інструкції з експлуатації

Перед початком ремонтних робіт

1. Від'єднайте перетворювач частоти від мережі
2. Від'єднайте дроти від клем 88 та 89 шини постійного струму.
3. Зачекайте протягом часу, не меншого за зазначений у розділі Загальне попередження вище
4. Від'єднайте кабель електродвигуна

Електричні характеристики:

Номінальна потужність, вказана на паспортній табличці перетворювача частоти, заснована на живленні від звичайної 3-фазної мережі у заданих межах напруги, струму та температури, які очікуються у більшості областей застосування. Перетворювачі частоти також придатні для інших спеціальних застосувань, які впливають на електричні характеристики перетворювача частоти. Особливі умови, які можуть впливати на електричні характеристики. Застосування в однофазних установках Застосування в умовах підвищених температур, що може вимагати зниження електричних характеристик. Застосування на морських установках за жорсткіших умов експлуатації.

Існують інші області застосування, здатні вплинути на електричні характеристики. Відомості про електричні характеристики можна отримати у відповідних параграфах цієї інструкції та у Посібнику з

проектування приводу AKD102, MG.11Mx.yy.

Вимоги щодо монтажу.

Для забезпечення загальної електробезпеки перетворювача частоти необхідно при монтажі приділити особливу увагу:

Запобіжники та автоматичні вимикачі для захисту від перевантаження струму та коротких замикань.

Вибір силових кабелів (для підключення мережі, двигуна, гальма, реле та розділення навантаження). Конфігурації електромережі (IT, TN, заземлена фаза тощо). Безпечність низьковольтних портів (вимоги PELV). У частині, що

стосується вимог демонтажу, слід ознайомитись з відповідними розділами цієї Інструкції та AKD 102 .

У разі виконання з входом безпечного зупину (клемма 37) перетворювач частоти може виконувати захисну функцію Вимкнення за перевищенням крутного моменту (як визначено проектом стандарту CD IEC 61800-5-2) або Функцію зупинки категорії 0 (як визначено у стандарті EN 60204-1).

Ці функції розроблені та затверджені відповідно до вимог категорії безпеки 3 стандарту EN 954-1. Цей режим називається

безпечним зупинкою. Перед впровадженням та використанням в установці функції захисного зупинки необхідно виконати ретельний

аналіз можливих ризиків, щоб визначити, чи є функція захисного зупинки та категорія безпеки підходящою та обґрунтованою.

Щоб встановити та використовувати функцію безпечного зупинки відповідно до вимог категорії безпеки 3 стандарту EN 954-1, необхідно дотримуватися відповідних відомостей та інструкцій Посібника з проектування AKD102 Design Guide MG 11. MX.YY! Слід мати на увазі, що інформації та вказівок Інструкції з експлуатації недостатньо для правильного та безпечного використання режиму

безпечного зупинки! Не підключайте перетворювачі частоти, розраховані на 400 В, з ВЧ-фільтрами до мереж живлення, в яких напруга між фазою і землею перевищує 440 В, а перетворювачі, розраховані на 690 В, до мереж, в яких зазначена напруга перевищує 760 Ст. У мереж ІТ, розрахованих на 400 В, або в мережах із заземленням за схемою трикутника (заземлена гілка), напруга між фазою та землею може перевищувати 440 В. У мереж ІТ, розрахованих на 690 В, або в мережах із заземленням за схемою трикутника (заземлена гілка), напруга між фазою та землею може перевищувати 760 В.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі розглянуто електроенергетичну систему контейнеровоза Maersk Essex – ІМО 9458092, місткістю 13 092 контейнера з можливістю підключення 800 рефрижераторних контейнерів. Розрахунок суднової електроенергетичної станції виконувався табличним методом, оскільки він надає повну інформацію про споживачів електроенергії в конкретному режимі роботи судна, а динамічні режими перевірено в сучасній системі моделювання Matlab SimScape SimPowerSystem 3-го покоління, яка дозволила підтвердити розрахунки падіння напруги при підключенні потужних споживачів, крім того, ця система дозволяє швидко отримати графіки перехідних процесів в СЕЕС в більш ніж 1000 точках – струми, напруги, механічні характеристики. Розрахунок виконується значно швидше, ніж за стандартними формулами, і надає змогу виправити помилки на стадії проектування СЕЕС. Для суднової електростанції було обрано 4 дизель-генератора по 5066 kVA кожен та один аварійний генератор потужністю 625 kVA. Крім того, СЕЕС для підвищення живучості судна, збереження моторесурсу ДГ оснащена валогенератором з такою же потужністю, як основні дизель-генератори. Враховуючи велику сумарну потужність, СЕЕС спроектовано на напругу 6600 V. Відповідно, проаналізовано роботу високовольтного 5-рівневого перетворювача частоти, підключеного до кожного з 2-х підрулюючих пристроїв потужністю 2000 kW. Показано, що використання багаторівневого перетворювача надає змогу покращити гармонійний склад напруги та струмів на обкладинках двигуна, а також підвищити надійність системи за рахунок використання методу балансування лінійної 3-фазної напруги при пошкодженні окремих низьковольтних комірок, зберігаючи працездатність приводу навіть при 50 % заблокованих комірок.

Проаналізовано систему дистанційного автоматичного управління головним двигуном на основі системи Auto Chief C20 та систему сигналізації та моніторингу Data chief C20. Охарактеризовано всі режими роботи даної системи управління з головним двигуном типу MAN B&W-ME-C.

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. Список 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

<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. Глазєва, 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.Локарев В.И. Судовые автоматизированные электроприводы: Учеб. пособие. - Николаев: УГМТУ,2002.-160с.
- 20.Власенко А.А., Стражмейстер В.П., Судовая электроавтоматика. - М.: Транспорт. 1983. - 367с.
- 21.Правила Регистра Украины для морских и речных судов. Киев: 2003.
- 22.Правила технической эксплуатации судовых технических средств. - М.: В/О Мортехинформреклама, 1984. - 388с.
- 23.Правила техники безопасности на судах морского флота. РД31.81.10-75. - М «Мортехинформреклама», 2004.- 300с.
- 24.Піпченко О.М. Розрахунок суднових електроенергетичних систем. - М.: Мортехінформреклама, 1988 - 39 с.
- 25.14. Яковлев Г.С. Суднові електроенергетичні системи,- Л.; Суднобудування, 1987.- 272 с.
- 26.Толстов А.А. Устройство и эксплуатация судовых синхронных генераторов: Учеб. пособие.- Одеська нац. Морська академія. – Одеса, 2006.
- 27.Толстов А.А. Автоматические выключатели: Учеб. пособие.- Одеська нац. Морська академія. – Одеса, 2012.
- 28.Воскобович Ю. В. и др. Электроэнергетические установки и силовая электроника транспортных судов. – СПб: Элмор, 2001.
- 29.Іванов Б.Н., Колегаєв М.А., Касилов Ю.І., Іванов А.І. Основы охраны труда на морском транспорте – Одесса: Компас, 2003.
- 30.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.
- 31.Интернет ресурс, сайты: www.mitsubishiautomation.ru, www.deif.com, www.selko.com, www.abb.com., www.hyundai.com