

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

Кафедра: «Електрообладнання та автоматики суден»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему:

«Електрообладнання, електронна апаратура і системи управління
контейнеровоза місткістю 6670 контейнерів»

Виконав: студент 3 курсу, групи 4330153
спеціальності:

271 – Річковий та морський транспорт

Спеціалізація: «Експлуатація суднового
електрообладнання і засобів автоматики»

Березкін Єгор Максимович
(підпис, прізвище та ініціали)

допущений до захисту 17.12.2021

(дата)

Завідуючий кафедрою Черняк М.В.
(підпис, прізвище та ініціали)

Керівник Бушар В.В.
(підпис, прізвище та ініціали)

Нормо контролер Самонів С.Ф.
(підпис, прізвище та ініціали)

Рецензент Рябцев О.В.
(підпис, прізвище та ініціали)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

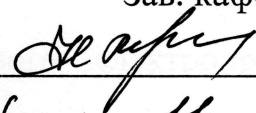
Навчально-науковий інститут автоматики та електромеханіки

Кафедра електричної інженерії та електроніки

Спеціальність: електричні системи та комплекси транспортних засобів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ЕІ та Е

 М. Й. Муха
« 01 » 11 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу бакалавра

Бородкіна Єгора Максимовича

Тема бакалаврської роботи:

1. «Електрообладнання, електронна апаратура і системи управління контейнеровоза місткістю 6670 контейнерів» затверджена наказом ректора академії від «08» листопада 2021 р. № 1694
2. Термін здачі курсантом закінченої роботи до 18.12.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: технічна документація судна – контейнеровоза місткістю 6670 контейнерів.
4. Змістовна частина розділів дипломної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямом підготовки 271 «Річковий та морський транспорт» як зазначено нижче:
 - 4.1. Техніко-експлуатаційні характеристики та конструктивні особливості судна:
 - опис корпусу судна та рушія, головної енергетичної установки, вантажного комплексу, допоміжних механізмів і систем;
 - обґрунтування основних параметрів СЕЕС та вибір її типу.

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

4.5. Питання цивільного захисту та охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу:

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

6. Консультанти розділів роботи:

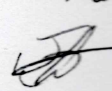
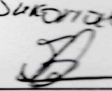
Розділ	Консультант	Підпис і дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Безпека та виживання на морі	кафедра БЖ <i>Тарасюк О. Т.</i>	<i>В. В.</i>	<i>В. В.</i>
Охоронні заходи та цивільна оборона на судні	кафедра МТ <i>Бушер В. В.</i>	<i>В. В.</i>	<i>В. В.</i>

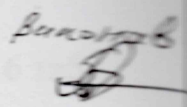
Дата видачі завдання: 16.09.2021 р.

Керівник *В. В.* Бушер В. В.

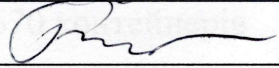
Завдання прийняв до виконання *В. В.* Бородкін Є. М.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання	Примітки
1	Розрахунок режимів роботи електропривода циркуляційного насосу заборотної води. Вибір двигуна. Перевірка двигуна за нагрівом. Розрахунок статичних та динамічних характеристик приводу. Спосіб пуску двигуна.	16.10 – 20.10.2021	Виконав 
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	Виконав 
3	Аналіз систем та пристроїв управління судном: технічні характеристики та конструктивні особливості суднової комп'ютерної мережі інформаційних і управляючих систем;	05.11 – 11.12.2021	Виконав 
5	Цивільний захист та охорона праці	12.12 – 14.12.2021	Виконав 

6	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини роботи.	10.12.21 – 18.12.21	
---	---	------------------------	---

Студент-дипломник  Бородкін Є. М.

Керівник  Бушер В. В.

У дипломній роботі виконано аналіз електричних систем судна типу «Віктор» (власний проєкт), встановлено основні техніко-економічні показники, які характеризують роботу системи.

Зроблено розрахунок електричних параметрів системи, встановлено основні техніко-економічні показники, які характеризують роботу системи. Встановлено основні техніко-економічні показники, які характеризують роботу системи. Встановлено основні техніко-економічні показники, які характеризують роботу системи.

Виконано розрахунок електричних параметрів системи. Встановлено основні техніко-економічні показники, які характеризують роботу системи. Встановлено основні техніко-економічні показники, які характеризують роботу системи. Встановлено основні техніко-економічні показники, які характеризують роботу системи.

СУДОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ. СУДОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ. ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ. АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ. ДИСТАНЦІЙНЕ АУТОМАТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ.

Анотація

Електрообладнання, електронна апаратура і системи управління контейнеровоза
місткістю 6670 контейнерів

У дипломній роботі виконано аналіз електротехнічних систем судна типу контейнеровоз місткістю 6670 контейнерів. 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 6670 контейнеров

В дипломной работе выполнен анализ электротехнических систем судна типа контейнеровоз вместимостью 6670 контейнеров. 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 6670

The containership with number of containers 6670 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 MANagements, 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.....	103
4.3. Технічні характеристики та конструктивні особливості основних пристроїв управління судна, системи контролю, сигналізації та внутрішнього зв'язку.....	105
4.4 ГМЗСБ і навігація. Технічні характеристики та конструктивні особливості електро-радіо- навігаційних пристроїв та радіозв'язку.....	107
5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	
5.1. Виживання при нестачі води і їжі. Організація життя на рятувальному засобі.....	
5.2. Використання запобіжних пристроїв обладнання і безпечних систем управління на робочих місцях.....	
5.3. Правила техніки безпеки при вантажних операціях на контейнеровозах.....	
5.4 Аварійний пост машинного відділення. Засоби гасіння пожежі в машинному відділенні.....	
5.5. Розробка системи знезараження та очищення стічних вод на судні.....	
6. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....	
6.1 Нормативно-правові акти України по забезпеченню охорони і безпеки судів і портових засобів.....	
6.2 Заходи охорони, що підлягають застосуванню для контролю несупроводжуваного багажу.....	
6.3. Сценарій оцінки хімічної обстановки на об'єкті морського транспорту при загрозі зараження отруйними речовинами.....	
ВИСНОВКИ.....	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	105
ДОДАТОК А: Система управління підрулюючим пристроєм	

ДОДАТОК Б: Таблиця електричного навантаження СЕЕС	
ДОДАТОК В: Однолінійна схема ГРЩ і АРЩ	
ДОДАТОК Г: Система автоматизації СЕЕС 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

1. ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА

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

Судно Alexandra, IMO 9635676 типу контейнеровоз, призначене 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 6670, є можливість підключення 800 рефрижераторних контейнерів.



Детальна характеристика судна

Name	ALEXANDRA
Previous names	2013 - 05.2014 Alexandra 05.2014 - 06.2014 Safmarine Boland

Type	Cellular containership
IMO-number	9635676
Call sign	V7ZT8
Flag	Marshall Islands
Port of registry	Majuro
GT	71.021 t
DWT	Summer: 80.350 m
NT	40.452 t
Number of 20ft containers	6.670
Container capacity 14t	4.950
Reefer capacity	800
Length	270,07m overall 258,62 m registered
Breadth	42,80 m registered
Draught	14,50 m
Depth	24,80 m moulded
Speed	Max.: 22,5 knots
Built	2013
Keel laid	24.09.2012
Launch date	09.12.2012
Date of completion	31.01.2013

Builder	Hyundai Samho Heavy Industries Co. Ltd. Jeollanam-do South Korea
Yard number	S621
Hull material	Shipbuilding steel (standard)
Hull type	Partly double bottom
Watertight bulkheads	8
Continuous decks	2
Main engine	1x MAN-B&W 8S80ME-C 9.2 - 2 stroke 8 cylinder 800 x 3.450 mm diesel engine 33.670 kW at 78,0 rpm Year of Manufacture: 2012 Manufacturer: Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.
Propellers	1x Solid propeller (keyless) - aft at 78,0 rpm
Boilers	1x Steam boiler, oil fired - 9,0 bar Heating surface: 30,5 m ² 1x Steam boiler, exhaust gas heated - 12,0 bar Heating surface 255,0 m ² Year of manufacture: 2012 Manufacturer: Alfa Laval Qingdao Ltd.
Electric installations	1x Plant 6.600 V - 3.800 kVA 1x Plant 6.600 V - 4.466,7 kVA 1x Plant 6.600 V - 4.466,7 kVA 1x Plant 6.600 V - 4.466,7 kVA 1x Plant 450 V - 250 kVA 1x Plant 24 V - 150 Ah 1x Plant 24 V - 200 Ah

	1x Plant 24 V - 300 Ah 2x Plants each 110 V - 40 Ah
Generators	3x Hyundai Himsen 7H32/40 diesel generatorsets each 3.574 kW / 4.466,7 kVA 1x Hyundai Himsen 6H32/40 diesel generatorset 3.040 kW / 3.800 kVA
Emergency generator	1x Diesel generatorset 250 kVA
Batteries	1x Battery for UPS navigation 300 Ah 1x Battery for UPS radio 200 Ah 1x Battery for start emergency engine 150 Ah 2x Batteries for other purpose each 40 Ah
Compressed air receivers	2x Receivers each 13.000 litres - 30,0 bar 1x Receiver 500 litres - 30,0 bar 1x Receiver 2.000 litres - 7,0 bar 1x Receiver 200 litres - 7,0 bar
Bow thruster	1x Transverse thruster 2.500 kW, forward
Anchor equipment	3x Anchors weight each 16.900 kg Chain Length: 742,50 m
Cargo gear	Gearless
Crew size	28
Manager	Technomar Shipping 12/F Ma. Natividad Building, 470 T. M. Kalaw cor. Cortada Sts. Ermita Manila 1000 Philippines

Operator	Maersk
Registered owner	Philippos Marine LLC Care of Technomar Shipping Inc 3-5, Menandrou Street, Kifisia 145 61 Athens Greece
Latest data adjustment	27 July 2017

Максимальна швидкість судна в повному завантаженні – 22.5 вузла.

На судні встановлено в якості головного двигуна дизель типу «1x MAN-B&W 8S80ME-C 9.2 - 2 stroke 8 cylinder 800 x 3.450 mm diesel engine at 78,0 rpm» потужністю 33.670 kW при швидкості обертання 78 rpm. Рушій судна – бронзовий суцільно литий гвинт.

Підрулюючий пристрій – 1 реверсивний баутрастер на носі судна потужністю 2.500 kW.

Енергетична установка складається з 3-х дизель-генераторів Hyundai Himsen 7H32/40 потужністю 3.574 kW / 4.466,7 kVA, одного дизель-генератора Hyundai Himsen 6H32/40 3.040 kW / 3.800 kVA та аварійного дизель-генератору потужністю 250 kVA.

Суднова електроенергетична система 1x Plant 6.600 V – 3.800 kVA; 3x Plant 6.600 V – 4.466,7 kVA; 1x Plant 450 V – 250 kVA; 1x Plant 24 V – 150 Ah; 1x Plant 24 V – 200 Ah; 1x Plant 24 V – 300 Ah; 2x Plants each 110 V – 40 Ah.

2. РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПІДРУЛЮЮЧОГО ПРИБОРУ

2.1. Розрахунок та вибір електродвигуна, аналіз режимів роботи

Потужність встановленого на судні двигуна складає 2500 kW при швидкості обертання 895 г/хв, що надає змогу визначити номінальний момент навантаження з урахуванням запасу на падіння напруги:

$$M_v = \frac{\eta P_n}{\omega_n} = \frac{0.833 * 2500000}{895\pi / 30} = 22220 \text{ Nm}, \quad (2.1)$$

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. Високовольтні каскадні перетворювачі частоти розповсюджуються у різних галузях техніки з потужними споживачами, в тому числі у суднових електроприводах підрулюючих пристроїв, в високовольтних суднових електроенергетичних станціях. 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 енергетики режимі при будь-якій 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 суднову мережу.

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-квadrантим ШІМ інвертором, що дозволяє легко діагностувати несправність та вимикати її з роботи, не зупиняючи виконавчий механізм [3–5]. За цією структурою можна досягти будь-яких 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, б).

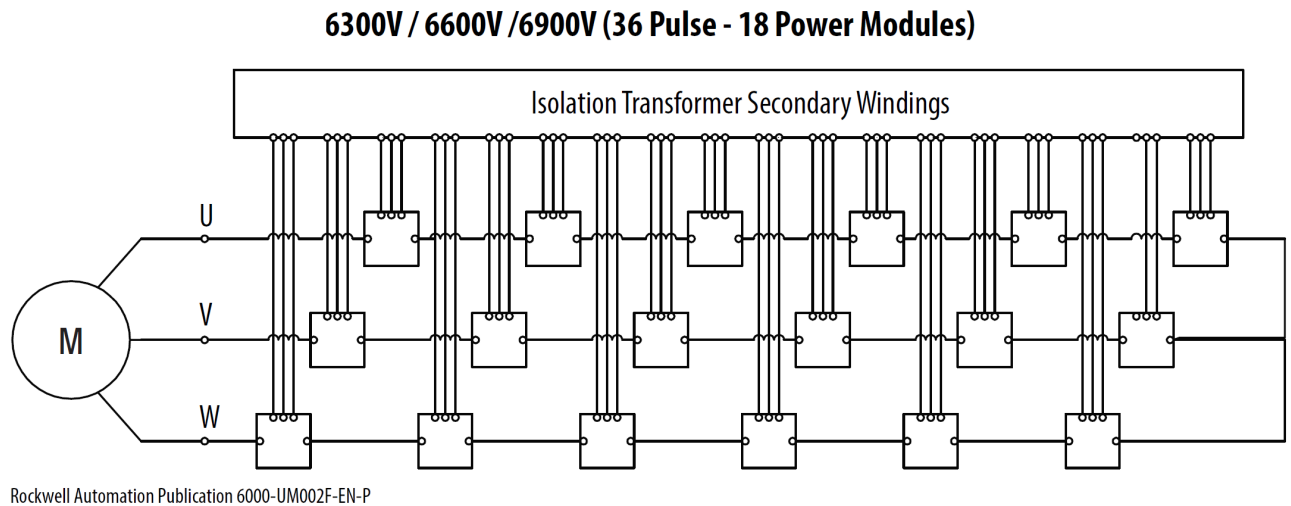


Рисунок 2.1. – Спрощена силова схема 6-каскадного перетворювача частоти

Такий тип перетворювачів випускає компанія Allen Bradley, серія Power Flex 6000 [9].

Метою даного розділу роботи є дослідження високовольного асинхронного електроприводу з перетворювачем частоти зі скалярним управлінням та синтез регуляторів, які забезпечують задовільні перехідні процеси при роботі підрулюючого пристрою.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз принципів формування вихідної напруги високовольних перетворювачів частоти;
- побудувати модель багаторівневого перетворювача модульного типу;
- провести дослідження штатного та аварійного режимів при скалярному законі керування ШІМ каскадного АІН.

Модель каскадного багаторівневого перетворювача частоти побудовано в середовищі Matlab / Simulink (рис. 2.2–2.7) [11, 12].

Вихідними даними для моделювання використано параметри схеми заміщення потужного АД марки ABB/AMD710X6T VABM, технічні характеристики якого наведено у табл. 2.1, та номінальні параметри перетворювача частоти.

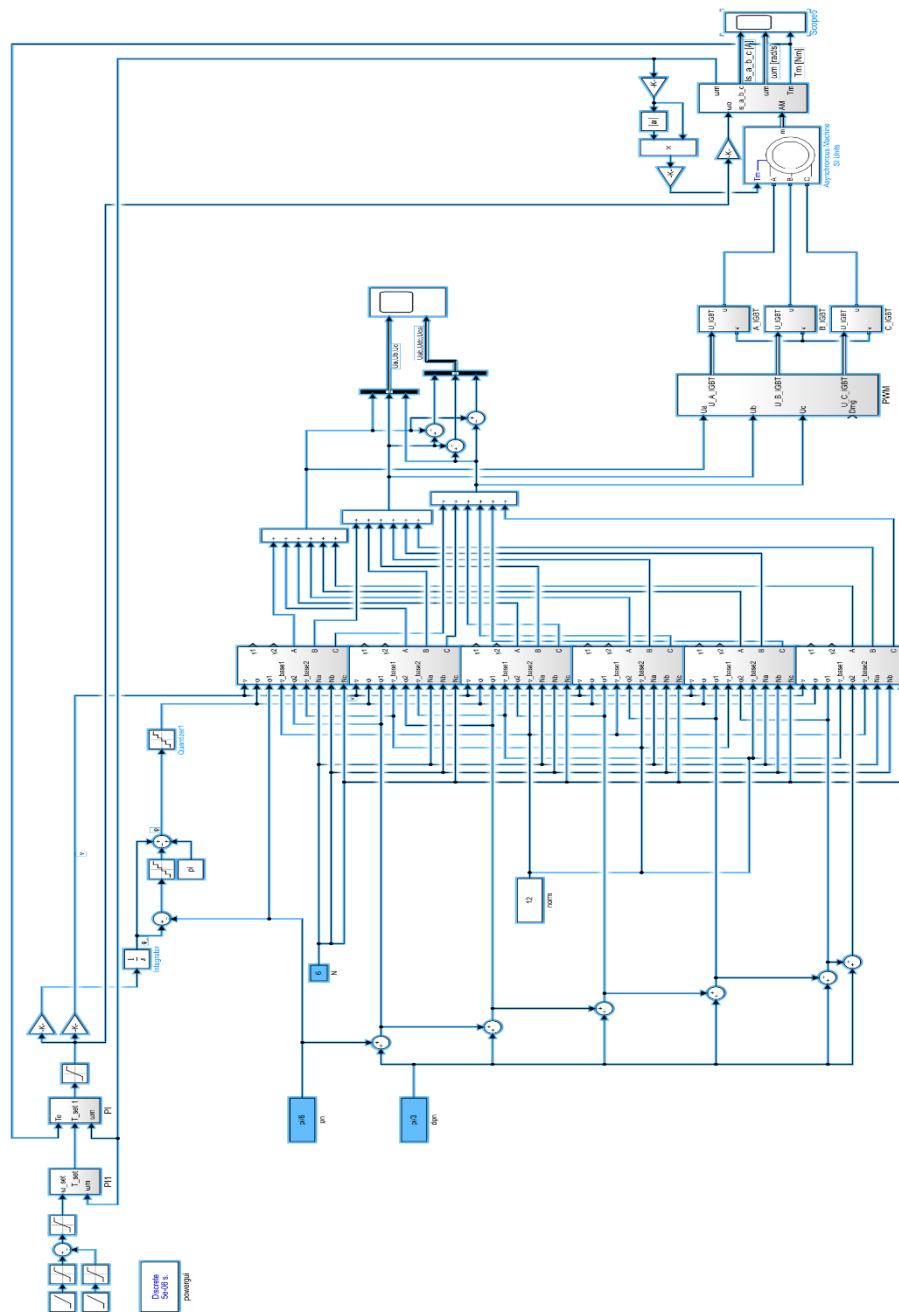
Таблиця 2.1 – Технічні характеристики АД марки ABB/AMD710X8T VABM

Номінальна потужність	2.5 MW	Коефіцієнт потужності	0,9
Напруга	6600 V	Номінальний момент	22220 Nm
Частота	60 Hz	Відносний пусковий струм	6.7
Частота обертання	895 rpm	Відносний пусковий момент	0.8
Струм	262 A	Відносний макс. момент	2.5
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		

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: скалярне керування з синусоїдальною ШІМ.
3. Частота ШІМ: 4000 Hz.
4. Число рівнів вихідної напруги: 6.
5. 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, які подаються на блоки формування синусоїдальних сигналів з необхідною відносною амплітудою та з просторово-векторною модуляцією для підвищення ефективності використання джерела живлення на 15.5 % [13, 14] (рис. 2.3).



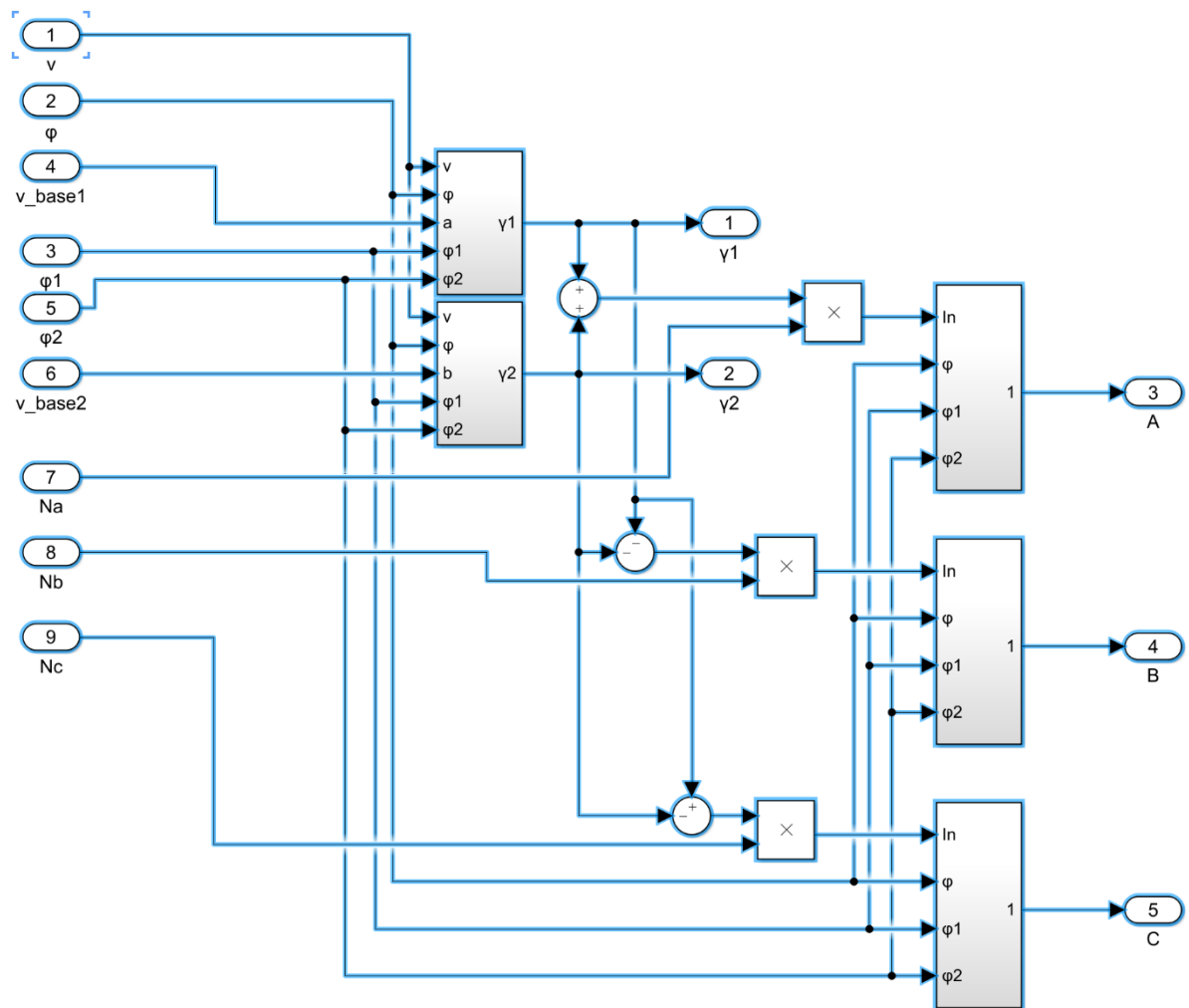


Рисунок 2.3. – Блок просторово-векторної модуляції

Просторово-векторна модуляція базується на комутації так званих базових векторів напруги, які виникають при деяких комбінаціях вмикання силових транзисторів. Незалежно від кількості каскадів, завжди можна отримати 6 базових векторів, з початком в началі координат, кінці яких в штатному режимі знаходяться в вершинах правильного шестикутника. Тоді для формування будь якого вектору напруги з амплітудою, що не перевищують радіус вписаного кола, необхідно зі щільністю $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_0$ перемикає двох сусідніх базових векторів v_1, v_2 та умовний вектор v_0 з нульовою амплітудою. У загальному вигляді вектори зображено на рис. 2.4, а розрахунки відбуваються за формулами, які знайдені за теоремою синусів:

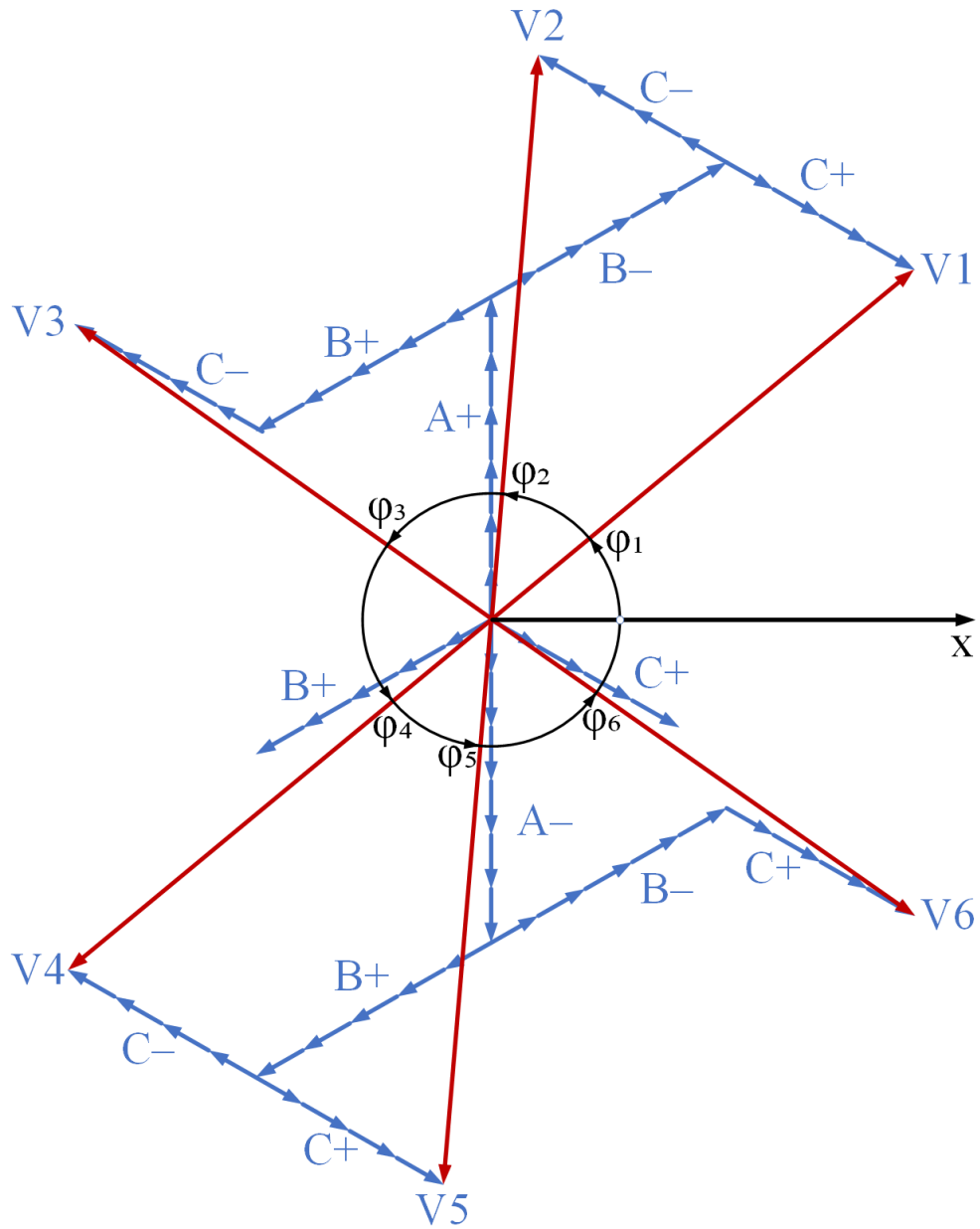


Рисунок 2.4. – Принцип просторово-векторної модуляції

$$\begin{aligned}
 \gamma_1 &= \frac{v}{v_1} \frac{\sin((\varphi_2 - \varphi_1) - (\varphi - \varphi_1))}{\sin(\pi - (\varphi_2 - \varphi_1))}, \\
 \gamma_2 &= \frac{v}{v_2} \frac{\sin(\varphi - \varphi_1)}{\sin(\pi - (\varphi_2 - \varphi_1))}, \\
 \gamma_0 &= 1 - \gamma_1 - \gamma_2.
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Наступна частина моделі – блок ШІМ, який включає в себе три канали для фаз А, В, С, кожен з яких в свою чергу складається з трьох генераторів ШІМ-сигналів відповідно до номеру режиму та вбудованих генераторів трикутних

сигналів (рис. 2.5) зі зсувом відповідно кількості Н-модулів та комутатори (рис. 2.6).

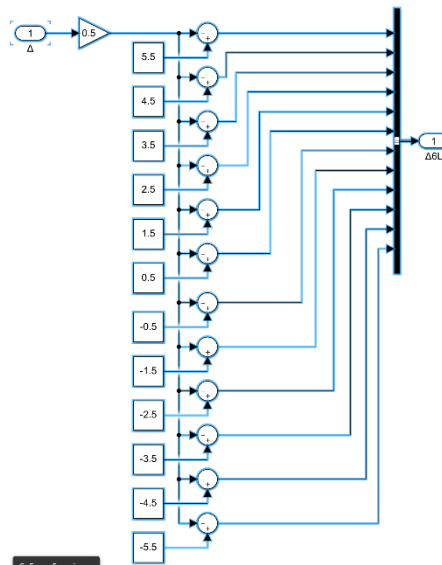


Рисунок 2.5. – Генератор багаторівневих трикутних сигналів

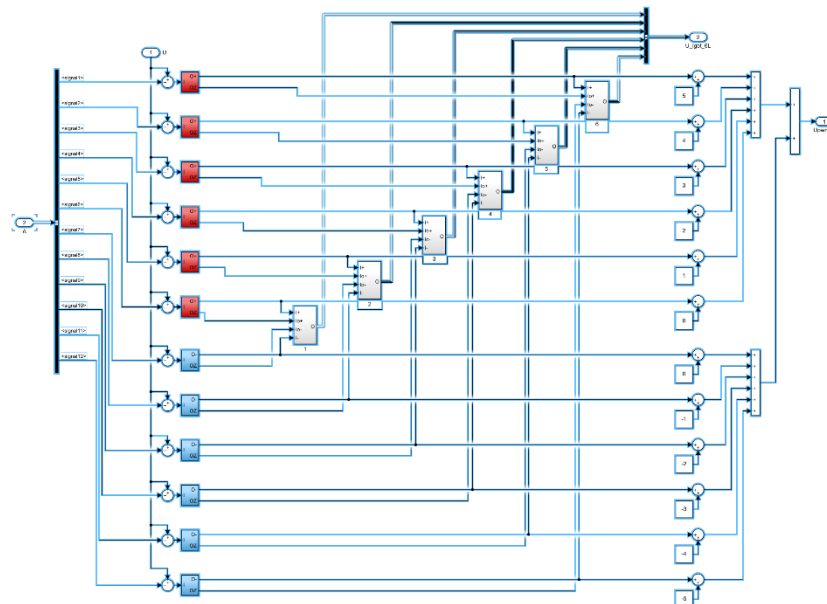


Рисунок 2.6. – Блок широтно-імпульсної модуляції

Далі сигнали керування транзисторами подаються на відповідний Н-модуль, схему якого наведено на рис. 2.7. В роботі використано 3-рівневий варіант, який

вдвічі зменшує рівень пульсацій напруги порівняно з 2-рівневим (без 5-го транзистора в діагоналі моста).

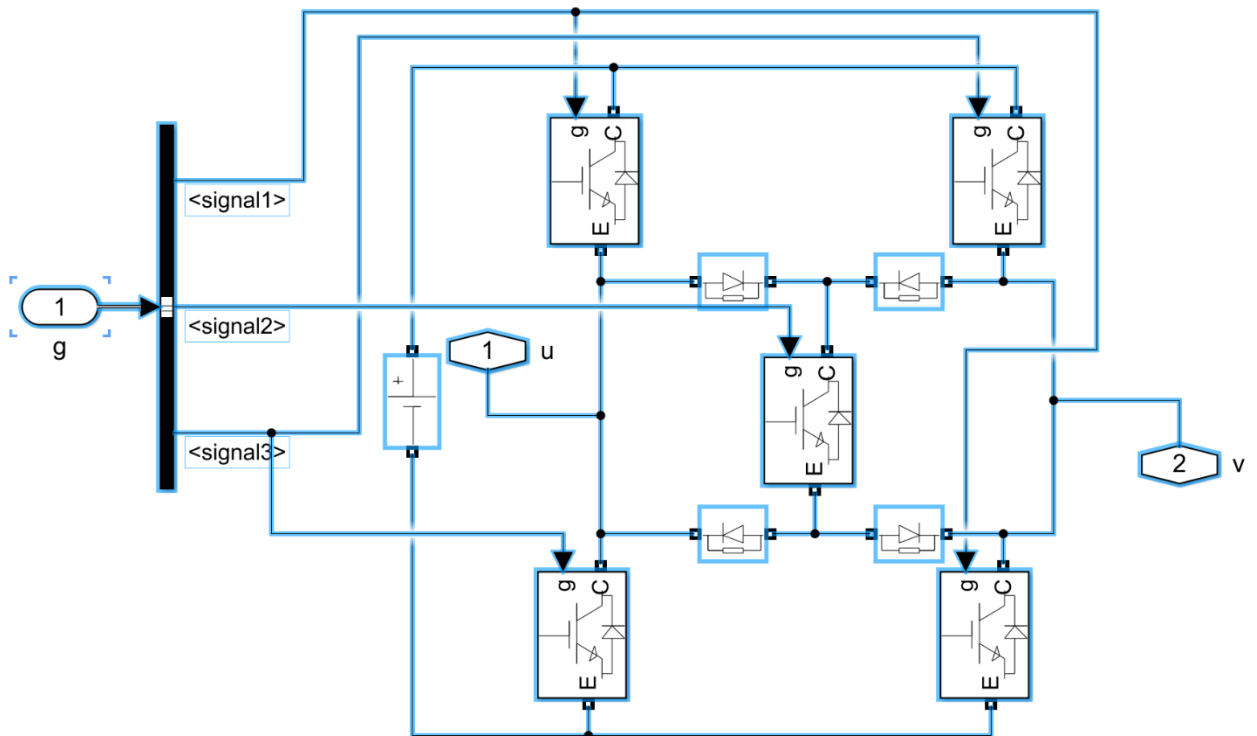


Рисунок 2.7. – Модель окремого 3-рівневого Н-модуля

В результаті отримаємо фазні та лінійні напруги, які на початку перехідного процесу пуску виглядають, як зображено на рис. 2.8, а наприкінці – як на рис. 2.9.

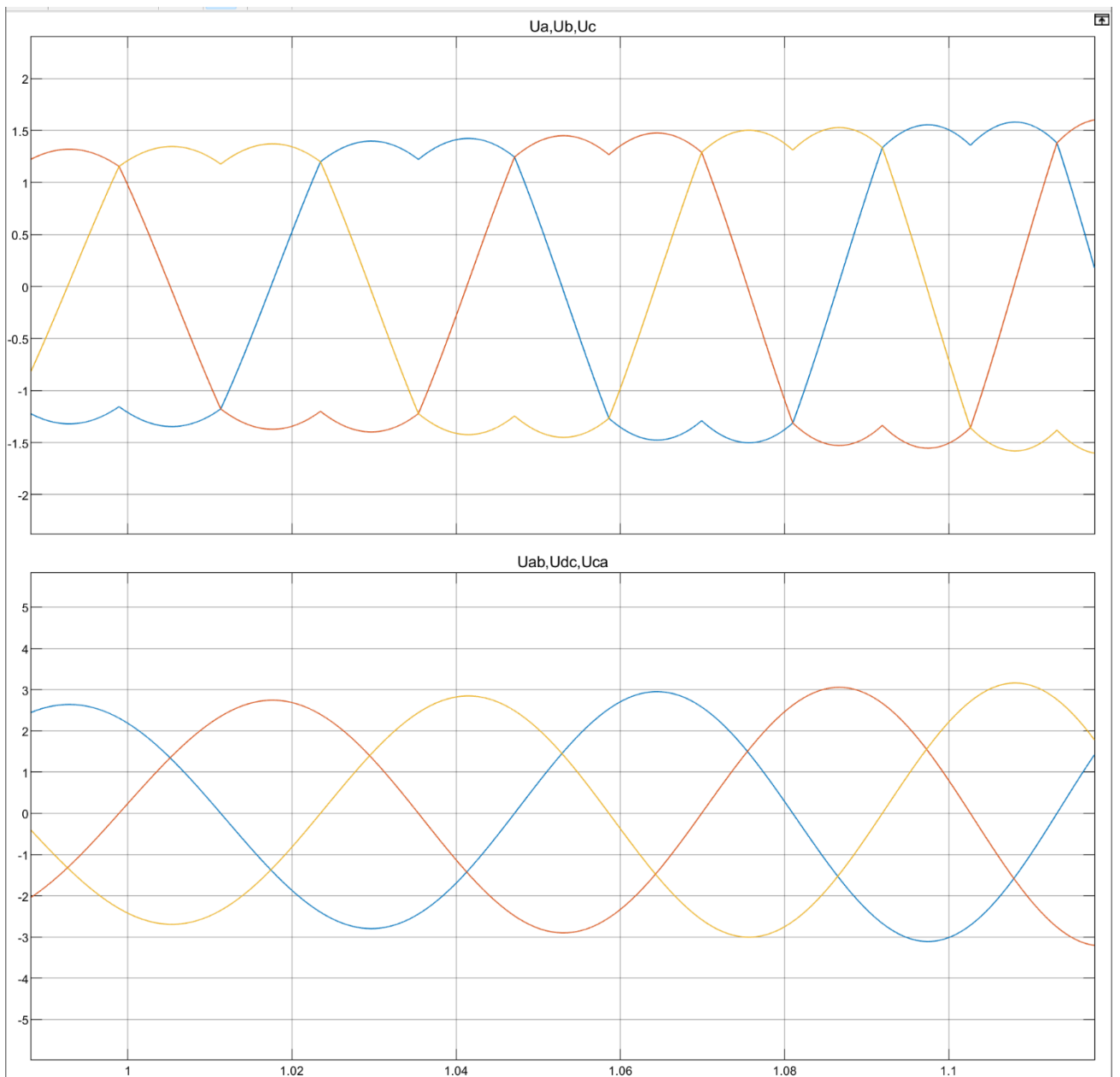


Рисунок 2.8 – Фазні та лінійні напруги у відносних одиницях на початку перехідного процесу пуску

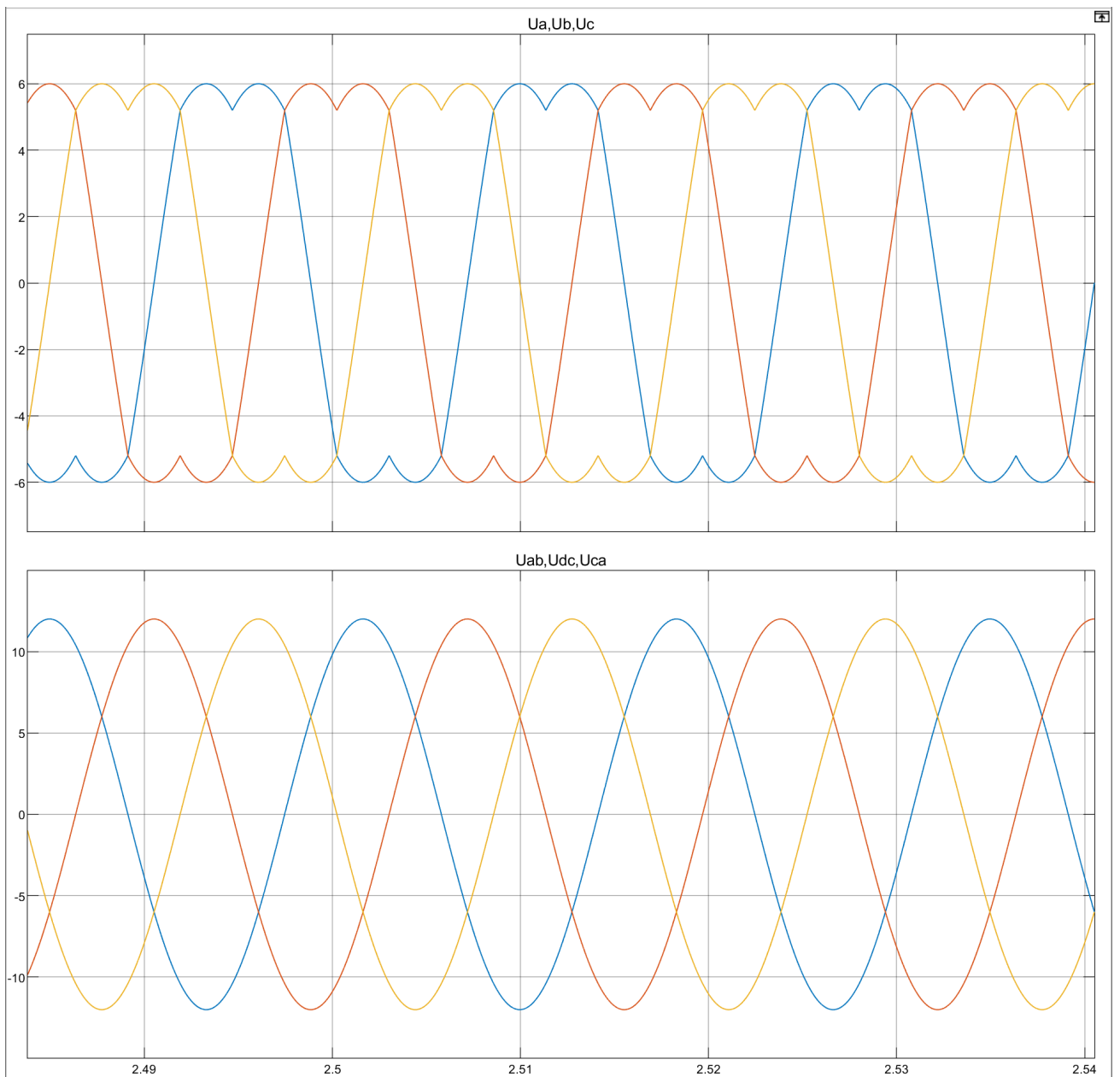


Рисунок 2.9 – Фазні та лінійні напруги у відносних одиницях при номінальній частоті

Необхідно звернути увагу, що особливістю формування фазних напруг є додавання до синусоїдального сигналу нескінченної кількості напруг з вищими гармоніками, але всі вони кратні 3, тобто в лінійних напругах залишається тільки основна гармоніка.

В результаті використання розробленої моделі при подачі лінійно зростаючого сигналу частоти і пропорційного сигналу напруги (відповідно до закону скалярного керування

$$\frac{U}{f} = const, \quad (2.3)$$

а у відносних одиницях

$$U^* = f^* \quad (2.4)$$

можемо отримати перехідні процеси пуску наступного виду (рис. 2.10):

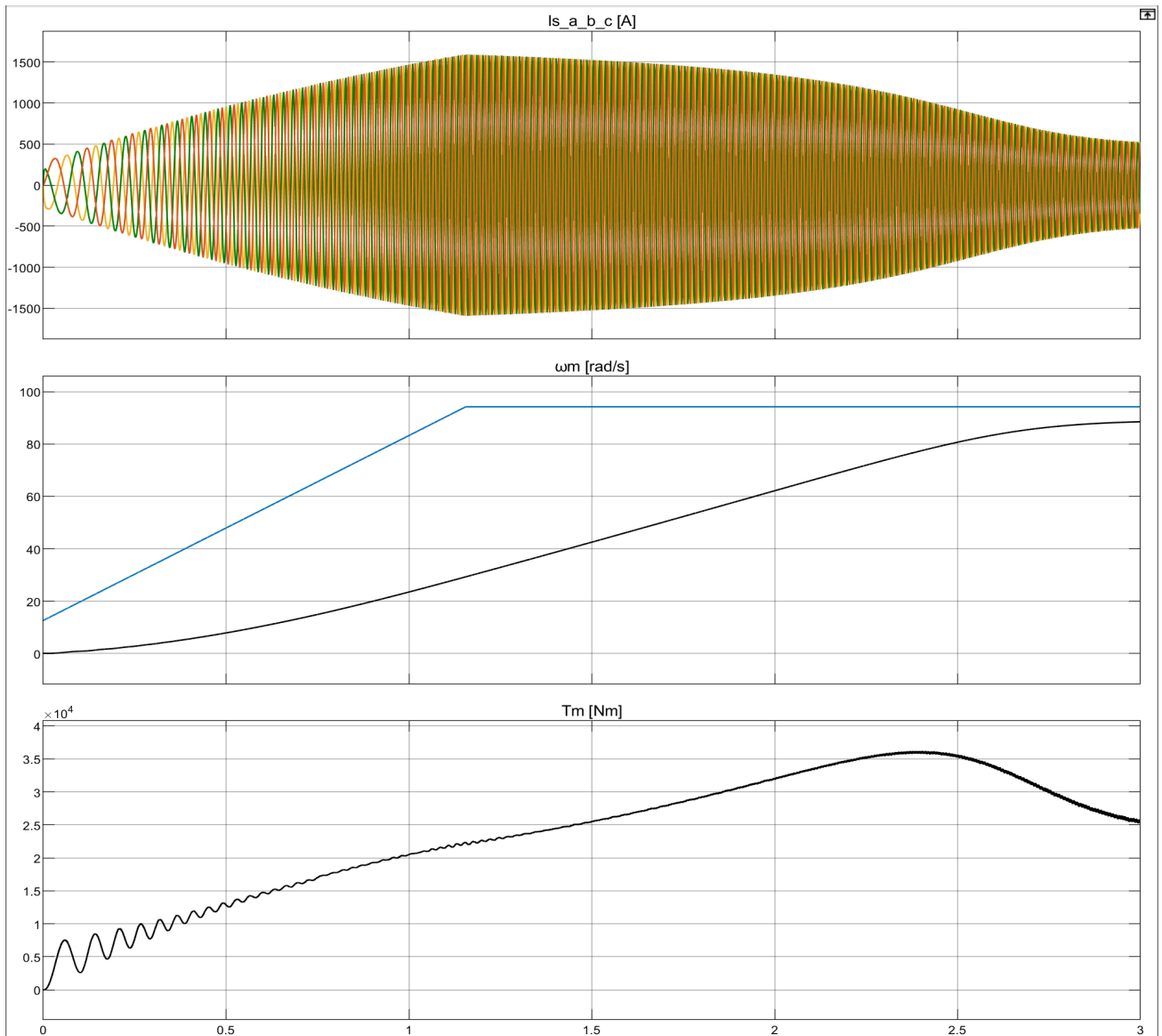


Рисунок 2.10. – Графіки перехідного процесу пуску з лінійним задатчиком напруги та частоти

Можна бачити, що в момент часу 1.1 s струм стає максимальним 1130 А (майже в 4 рази перевищує номінальний), а момент близьким до номінального. Це означає, що при невдалому виборі темпу зміни частоти двигун може опинитися на ділянці характеристики з ковзанням, більшим критичного.

Для запобігання такої ситуації в модель додано двоконтурний регулятор (рис. 2.11), який виконує наступні дії. Перший пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор швидкості формує сигнал завдання моменту. Пропорційно-інтегральний регулятор моменту виконує захист від надмірного темпу зростання або зменшення сигналу завдання швидкості шляхом обмеження сигналу регулятора на рівні менше критичного ковзання та додаванням позитивного зворотного зв'язку швидкості. На виході отримаємо завдання амплітуди та кута повороту вектору напруги v, φ .

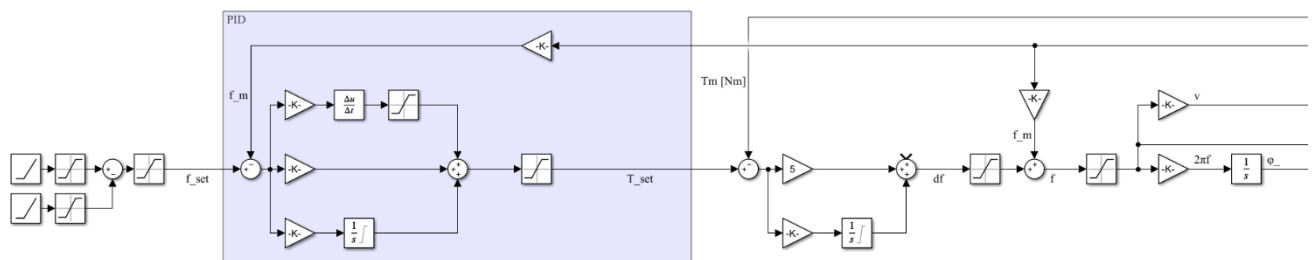


Рисунок 2.11 – Модель ПІ-регулятора швидкості для захисту від надмірного темпу прискорення та гальмування

В результаті отримано перехідні процеси, які наведено на рис. 2.12.

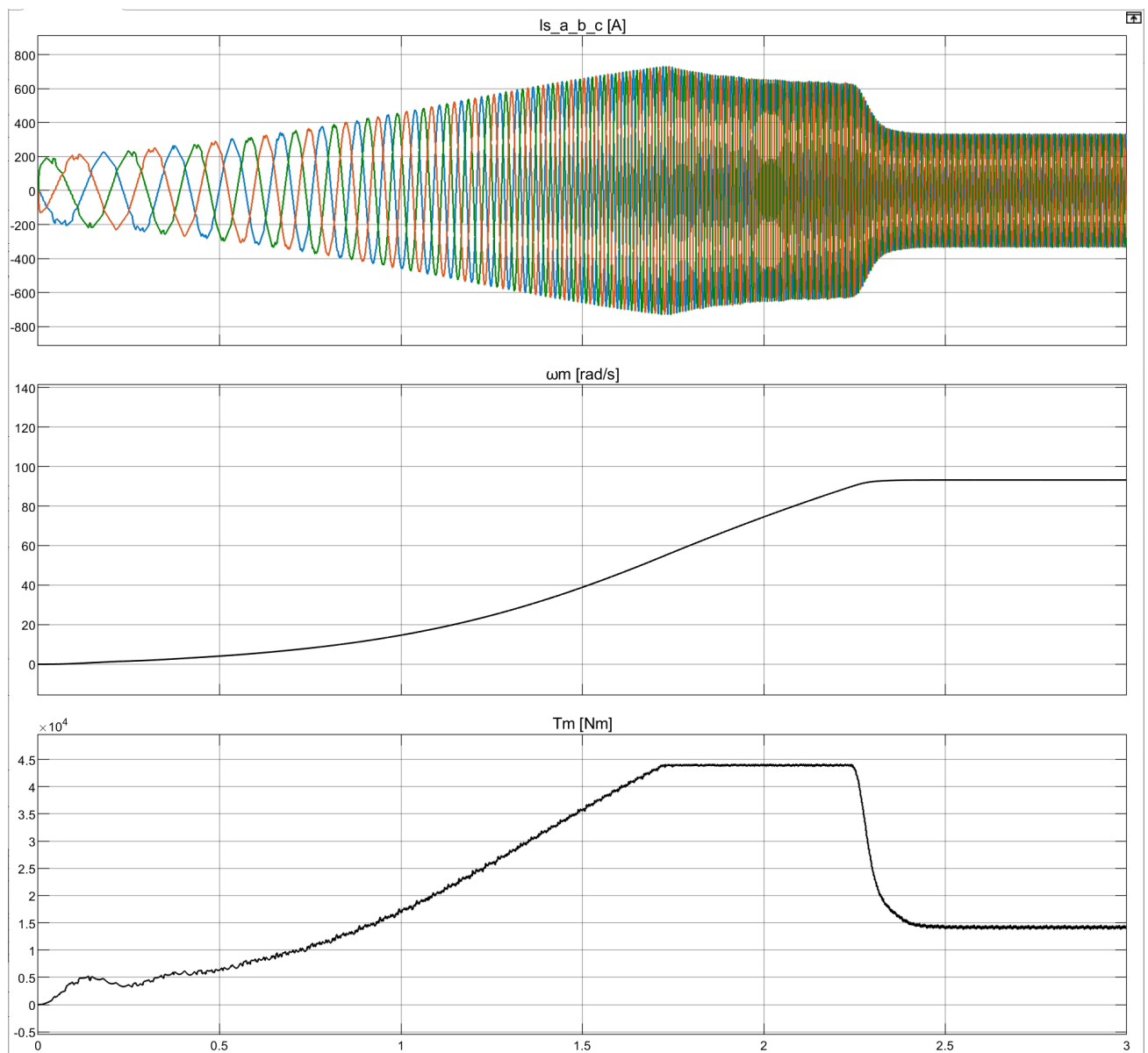


Рисунок 2.12. – Графіки перехідного процесу пуску з двоконтурним регулятором

Можна бачити, що струм не перевищує $2I_n$ (516 А), а момент досягає заданого обмеження $2T_n$.

Таким чином, для механізму баутрастера достатньо реалізувати регулятор за наведеною структурою. Це може бути реалізовано внутрішніми засобами контролера перетворювача частоти.

Найважливіше, що може бути використаний закон скалярного керування, що значно здешевшує електропривод, спрощує його внутрішню функціональну схему.

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:

$$I_H = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H} = \frac{2500000}{1,73 \cdot 6600 \cdot 0,85} = 257 \text{ A}, \quad (2.5)$$

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

За струмом двигуна 257 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 м*mm²/Ohm при t = 65°C):

$$I_a = I_k \cdot \cos \varphi_n = 257 \cdot 0,85 = 218.2 \text{ (A)}$$

Тоді з формули (2.6), маємо:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 218.2,4 \cdot 5 \cdot 100}{48 \cdot 3 \cdot 6600} = 0.212 \, \%.$$

Таким чином, втрата напруги не перевищує припустимих значень.

2.4. Вибір схеми живлення, управління та апаратних засобів управління

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

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

Відповідно до технічної специфікації обираємо перетворювач частоти 6000G–B(B-Frame)–A(Normal Duty)–305(A)–K(IP42)–J(6600V)–6(Line f=60Hz)–AP(Control Voltage 240V), тобто:

PowerFlex 6000G–B–A–305–K–J–6–AP.

Перетворювачі частоти серії 6000 забезпечують важливі у морському транспорті показники.

Висока ефективність і зручність використання.

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

Висока продуктивність

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

Сумісність з двигуном

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

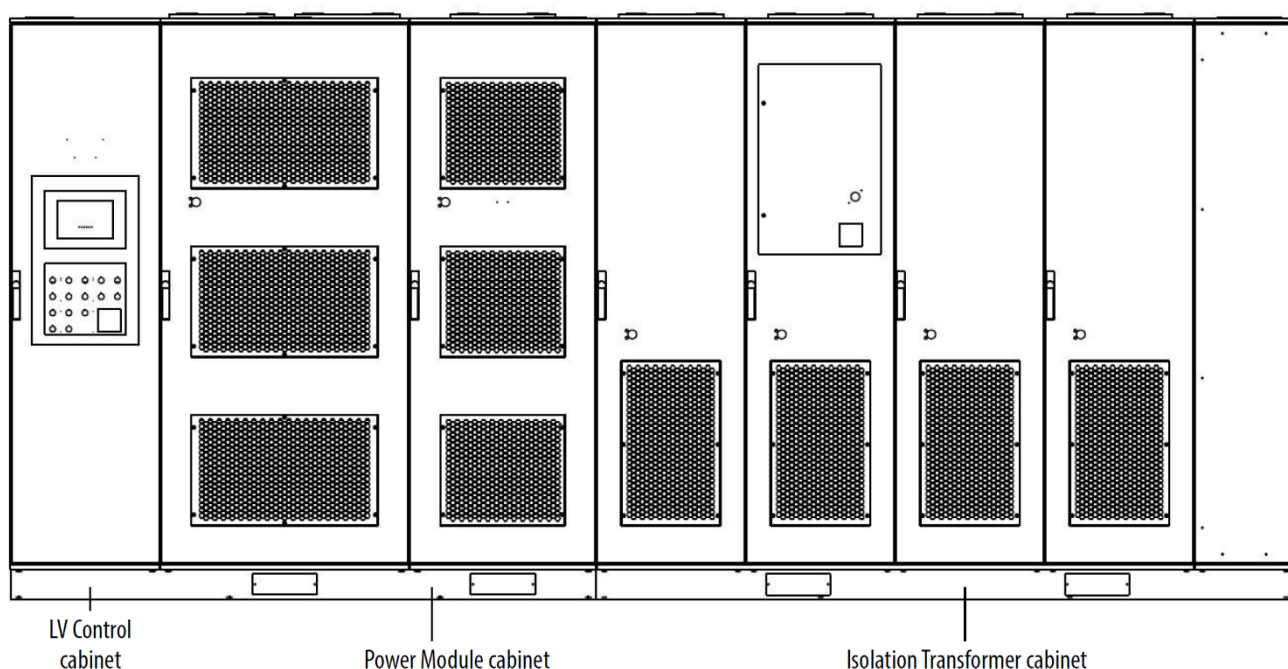
Сполучення з мережею

Для мінімізації нелінійних спотворень PowerFlex 6000G–B–A–305–K–J оснащений 30-пульсним випрямлячем. Він відповідає вимогам щодо гармонійних спотворень струму і напруги, визначених стандартами IEEE, IEC, EN і ГОСТР. При цьому для нових приводних систем відсутня необхідність проведення дорогого аналізу гармонік або установки мережесистемних фільтрів.

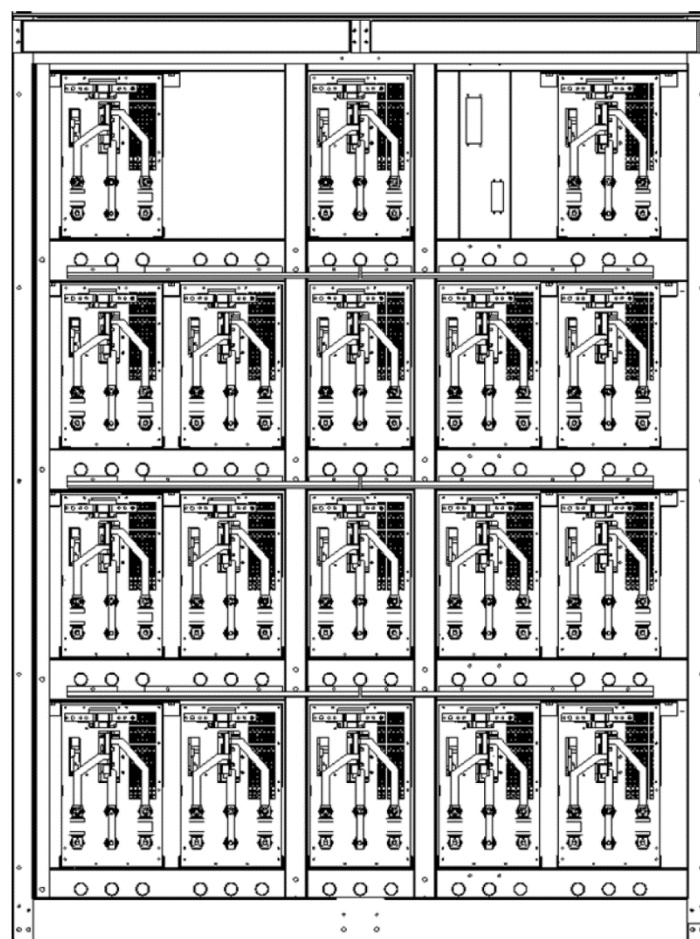
Адаптованість, модульна конструкція

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. 2.13, 2.14).

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



– Модуль перетворювача частоти

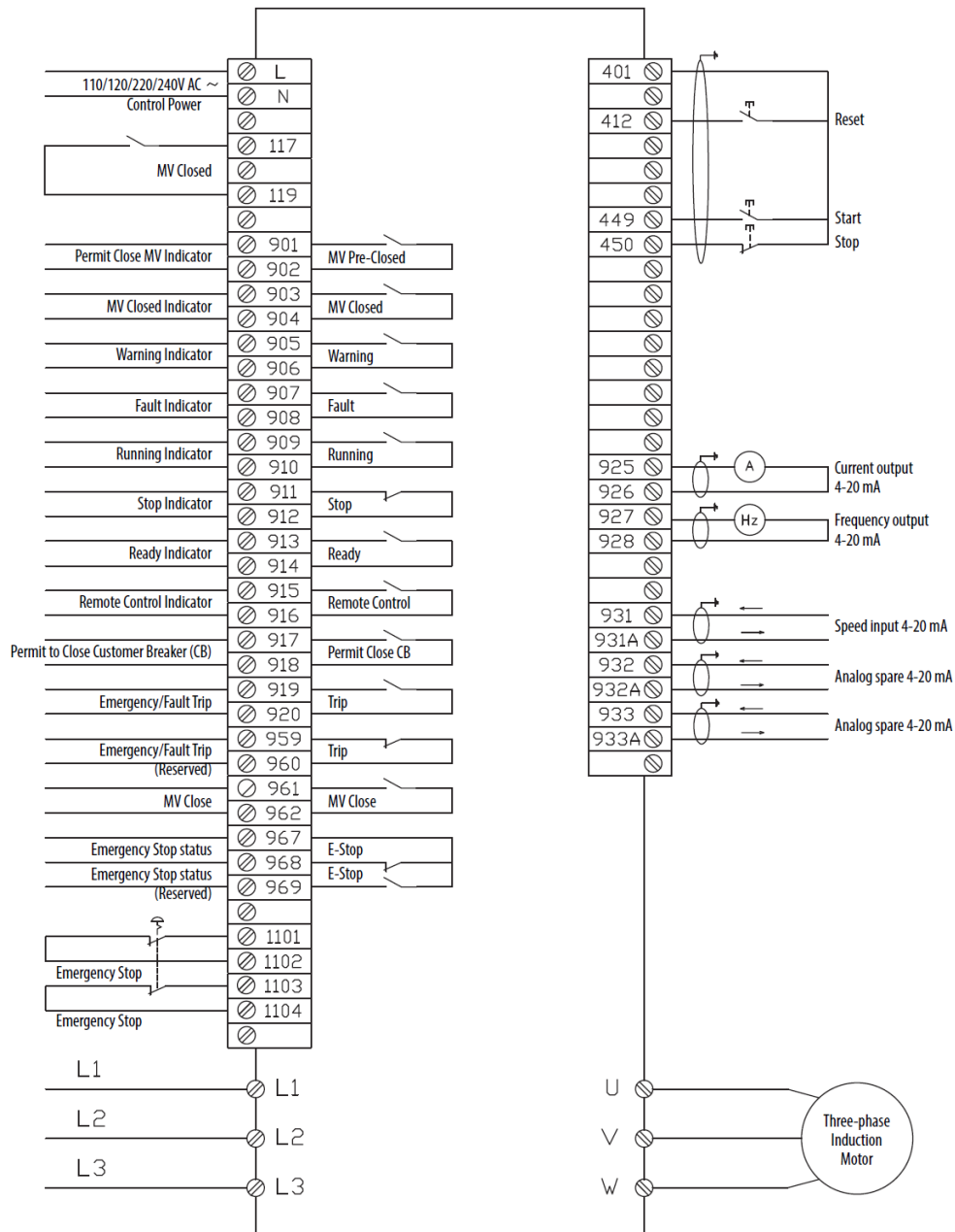


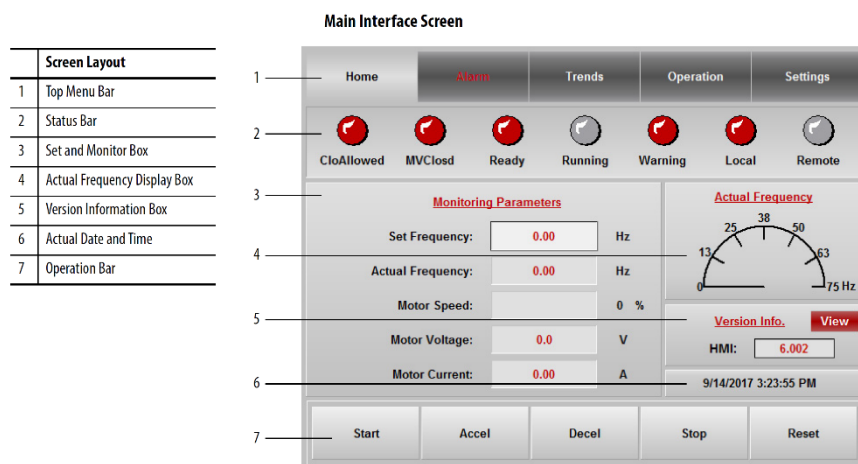
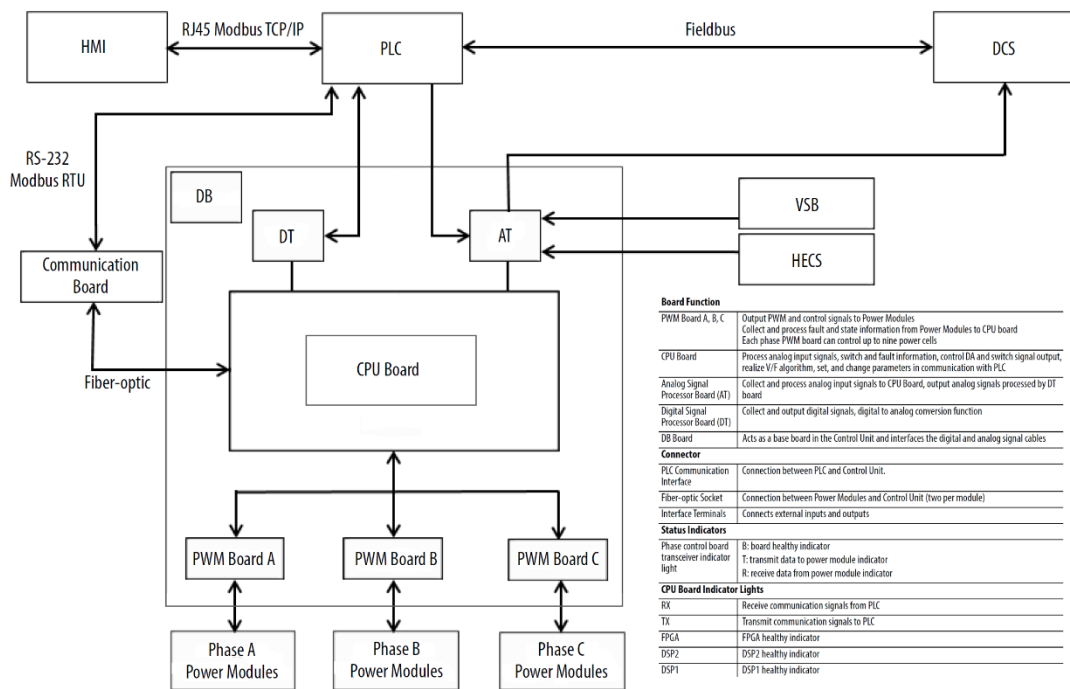
— Секція 18-и Н-мостів

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. Силові контакти перетворювача частоти та дискретні і аналогові входи та виходи блоку керування для обраного пристрою надано на рис. 2.15 [15]. Для коректного підключення перетворювача частоти необхідно розуміти функціональну схему пристрою (рис. 2.16) та вміти обирати необхідні параметри в програмному меню вбудованого контролера (рис. 2.17) [15].





Таким чином, в розділі обрано обладнання для високовольтного електроприводу підрулюючого пристрою, розроблено модель для аналізу типових режимів роботи, обрано необхідну структуру регулятора, який забезпечує вимоги підрулюючого пристрою при скалярному керування перетворювачем частоти з пропорційною залежністю напруги від частоти.

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 $\cos\varphi$), 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

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

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

При короткочасному режимі роботи:

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

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

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

При тривалому режимі роботи:

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

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

При короткочасному режимі роботи:

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

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

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, для судна ALEXANDRA необхідно врахувати, що 3 дизель-генератора Hyundai Himsen 7H32/40 використовуються для живлення всієї мережі, а дизель-генератор Hyundai Himsen 6H32/40 в основному застосовується для живлення баутрастера. Тому при розрахунку маневрового режиму враховано підключення двох типів генераторів. В інших режимах Hyundai Himsen 6H32/40 не використовується.

У нашому випадку у ходовому режимі з реф. контейнерами

$$\cos \phi_{CP} = \frac{3751.8}{3939.8} = 0.952$$

У маневровому режимі з реф. контейнерами та підрулюючим пристроєм

$$\cos \phi_{CP} = \frac{8029.3}{8677.3} = 0.925$$

В режимі стоянки

$$\cos \phi_{CP} = \frac{2788.0}{3241.6} = 0.860$$

В аварійному режимі

$$\cos \phi_{CP} = \frac{204.5}{241.5} = 0.847$$

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 3 генератора, працюючих в паралелі. Враховуючи використання

перетворювача частоти, динамічні режими пуску підрулюючого пристрою несуттєво впливають на навантаження мережі. Тому в цьому режимі підключаються 3 дизель-генератора.

Розрахуємо коефіцієнт навантаження генераторів при цьому режимі:

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

$$k_H = \frac{8029}{2 \cdot 3574 + 3040} = 0.788$$

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

$$k_H = \frac{8029}{3 \cdot 3574 + 3040} = 0.583.$$

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 241 kVA. Для забезпечення надійної роботи аварійного дизель-генератору обираємо дизель-генератор більшої потужності: синхронний генератор безщіткового типу HYUNDAI HFC7-354-4 потужністю 687 kVA (250 kW), напругою 460 V, частотою 60 Hz.

Таблиця 3.1 – Режимы роботи СЕЕС

Режими роботи судна	Споживана потужність	Генератори	
		В роботі	В резерві
Ходовий режим з реф. контейнерами	5314	2 основних	2 основних
Маневровий режим з реф. контейнерами	8029	2+1 основних	1 основний
Стоянка	2788	1 основний	3 основних

Аварійний	204	1 аварійний	4 основних
-----------	-----	----------------	---------------

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

Кількість	Генератор	Тип генератора	Потужність, kW	Потужність, кВА	Частота обертання, об/хв	Напруга, В	Струм, А	Cos(φ)
3	Основний	Hyundai Himsen 7H32/40	3574	4467	720	6600	312	0,8
1	Основний	Hyundai Himsen 6H32/40	3040	3800	720	6600	266	0,8
1	Аварійний	HYUNDAI HFC7-354-4	250	312	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 окремій 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 слідують 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 АРІЩ живляться основні споживачі, котрі забезпечують живучість судна під час аварії. Далі наведений список розподілу приймачів електроенергії по секціям ГРЩ та АРІЩ.

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 вентилятори МВ;

- розподільний щит (РЩ) №2 механізмів МВ;
- розподільний щит (РЩ) №3 механізмів МВ;
- розподільний щит (РЩ) №4 механізмів МВ;
- розподільний щит (РЩ) № 5 паливних насосів;
- розподільний щит (РЩ) № 6 провізійних камер;
- розподільний щит (РЩ) № 7 допоміжного котла;
- розподільний щит (РЩ) №8 утиль-котла;
- розподільний щит (РЩ) №9 санітарних механізмів;
- розподільний щит (РЩ) №10 гідравліки люкового закриття;
- розподільний щит (РЩ) №11 майстерні;
- розподільний щит (РЩ) №12 вентиляції трюмів;
- розподільний щит (РЩ) №13 загальної вентиляції;
- розподільний щит (РЩ) №14 кондиціонера;
- розподільний щит (РЩ) №15 палубних механізмів;
- розподільний щит (РЩ) №16 камбуза.

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

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

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

З секції 220 В отримують живлення:

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

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

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

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

Нижче приведений список споживачів, підключених до розподільних щитів:

Розподільчий щит РЩ-1, 440В:

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

Розподільчий щит РЩ-2, 440В:

- 2.1. Компресор пускового повітря №1,2;
- 2.2. Охолоджуючий насос 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 води ГД низької температури;

- 3.3. Насос циркуляційної змазки ГД;
- 3.4. Насос змащування крейцкопфу ГД.

Розподільчий щит РЩ-4, 440В:

- 4.1. Насос змазки дейдвудного пристрою;
- 4.2. Живлячий насос важкого палива №1;
- 4.3. Допоміжний повітрянагнітач;
- 4.4. Баластний насос №1.

Розподільчий щит РЩ-5, 440В:

- 5.1. Перекачуючий насос мастила №1;
- 5.2. Насос перекачки важкого палива №1;
- 5.3. Насос системи вирівнювання крену;
- 5.4. Компресор суднових потреб №2;
- 5.5. Живлячий насос важкого палива №2.

Розподільчий щит РЩ-6, 440В:

- 6.1. Вентиляція МВ №1,2;
- 6.2. Осушувальний насос;
- 6.3. Насос перекачки легкого палива №1;
- 6.4. Провізійне реф. устаткування.

Розподільчий щит РЩ-7, 440В:

- 7.1. Вентилятор котла;
- 7.2. Насос легкого палива котла №1;
- 7.3. Насос важкого палива котла №1.

Розподільчий щит РЩ-8, 440В:

- 8.1. Охолоджуючий насос 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 - $3000 \cdot 10^6 \times A^2 s$.

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.

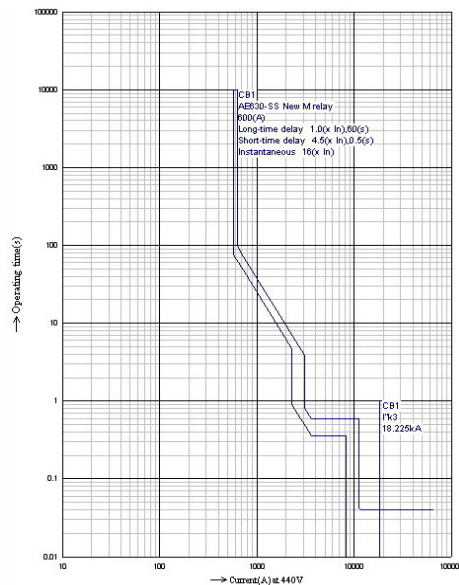


Рисунок 3.9 – Струмова часова діаграма

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-ТРҮСҮ.

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

Технічні дані:

- число жил: від 7 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-ТРҮСУ застосовується для передачі електроенергії в суднових силових ланцюгах напругою 6/10 кВ при закріпленій прокладці.

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

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

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

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

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

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:

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

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:

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

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:

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

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

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

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

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:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x_d'' \cdot \frac{S_6}{S_H} = 0,117 \cdot \frac{17200}{4000} = 0,468\text{ Ohm};$$

Опори кабелю FA-ТРҮСҮ-150 (3х150) складають: активне $R=0,126\text{ Ohm/km}$, індуктивне $X=0,0922\text{ Ohm/km}$. Опори 4-х паралельно прокладених кабелів завдовжки 10 м (приймається точка короткого замикання на відстані 10 м від ГРЩ) рівні:

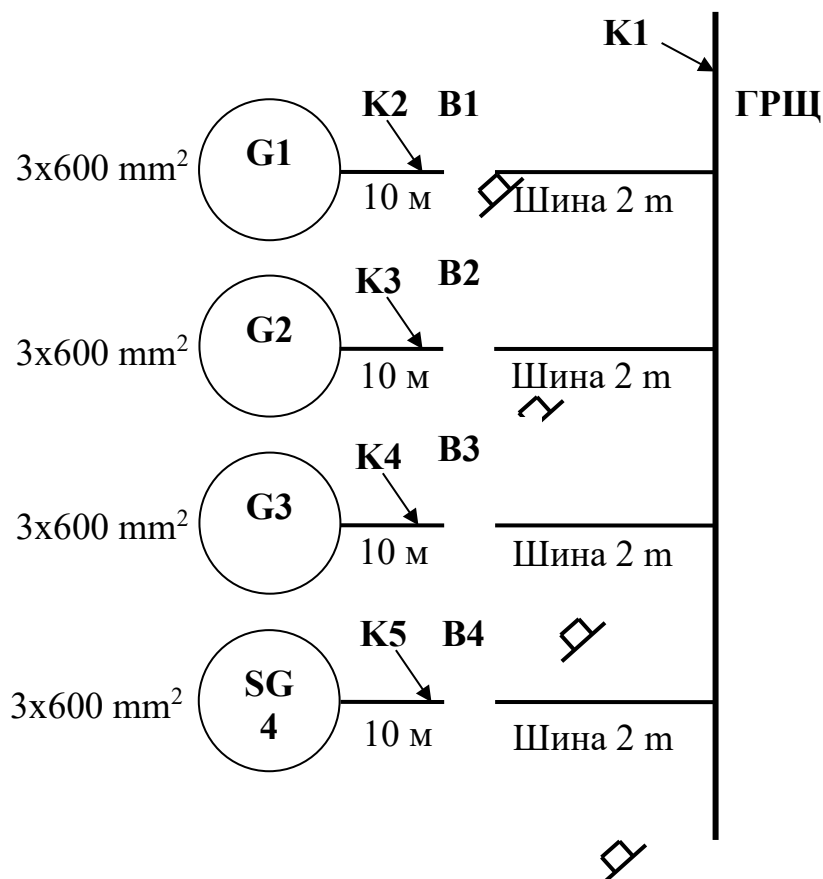


Рисунок 3.10 – Розрахунок струмів короткого замикання генераторів

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

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

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

Тоді загальний опір кабелю і шин буде:

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

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

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 К₁.

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

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

$$i_{y\partial.e} = \sqrt{2} \cdot I_{\bar{\sigma}} \cdot [I_{0,01} + I_0 \cdot (K_{y\partial} - 1)] \quad (3.21)$$

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

При короткому замиканні в точці К₁, ΔU=0. Тоді додатковий струм, створюваний електродвигунами в точці КЗ буде: I_д = (E_д-ΔU)/Z_д, де Z_д – опір еквівалентного двигуна. Приймаємо значення потужності еквівалентного двигуна 75% від номінальної потужності генераторів, тоді:

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

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

Струм підживлення двигунів:

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

Ударний струм в точці К₁ буде рівний сумі:

$$i_{y\partial} = i_{y\partial\partial} + i_{y\partial.r} = 9055 + 34232 = 43287 \text{ A.}$$

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

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

$$\text{К2: } i_{y\partial r} = i_{y\partial} \cdot \frac{S_r}{S_{\bar{\sigma}}} + i_{y\partial\partial} = 43287 \frac{4467}{17200} + 9055 = 26372 \text{ A};$$

$$\text{К3: } i_{y\partial r} = i_{y\partial} \cdot \frac{S_r}{S_{\bar{\sigma}}} + i_{y\partial\partial} = 43287 \frac{4467}{17200} + 9055 = 26372 \text{ A};$$

$$\text{К4: } i_{y\partial r} = i_{y\partial} \cdot \frac{S_r}{S_{\bar{\sigma}}} + i_{y\partial\partial} = 43287 \frac{4467}{17200} + 9055 = 26372 \text{ A};$$

$$\text{К5: } i_{y\partial r} = i_{y\partial} \cdot \frac{S_r}{S_{\bar{\sigma}}} + i_{y\partial\partial} = 43287 \frac{4467}{17200} + 9055 = 26372 \text{ A};$$

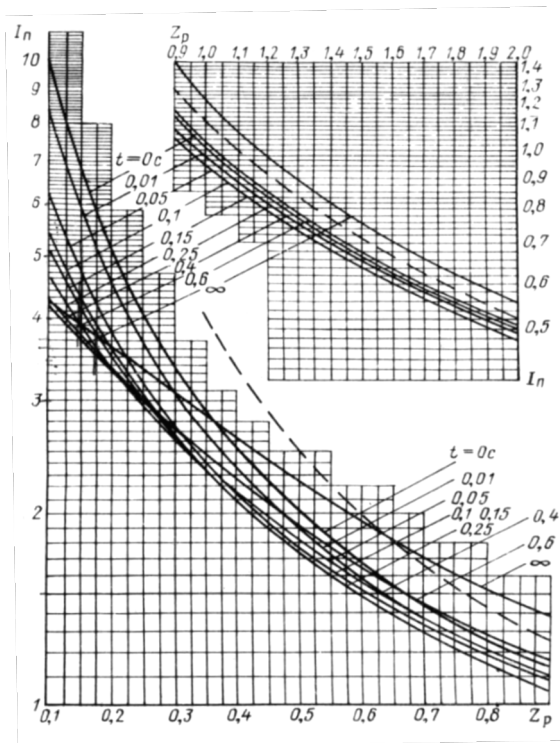


Рисунок 3.11 – Розрахункові криві для визначення періодичної складової струму КЗ СЕЕС залежно від результуючого опору кола КЗ і часу

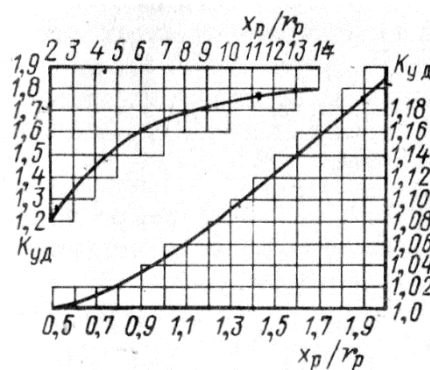


Рисунок 3.12 – Залежність ударного коефіцієнта $K_{уд}$ відношенням x_{10}/r_{10} .

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 с. 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 cm.

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

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

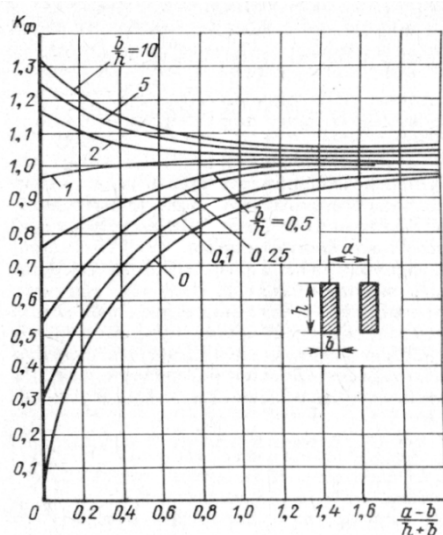


Рисунок 3.13 – Криві для визначення коефіцієнта форми

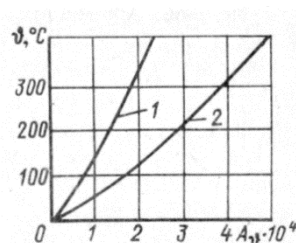


Рисунок 3.14 – Криві для визначення температури нагрівання струмопроводів
1- для алюмінію, 2 – для міді.

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

$$A_k = A_n + \frac{I_{\text{кз}}^2}{S^2} \cdot t_{\text{ф}} \quad (3.27)$$

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

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

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. Пристрій збудження і тиристорний регулятор напруги складають систему збудження DECS-300.

DECS-300 є системою управління збудженням, використовуваної для управління вихідною напругою, реактивною потужністю або коефіцієнтом потужності синхронного генератора шляхом зміни або управління величиною збудження постійним струмом, що додається до основного полю або полю збудження генератора. DECS300 придатна для машин практично будь-якої потужності.

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

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

DECS-300 може контролювати силові мости, які мають поточні можливості різних вихідних в діапазоні від 20 до 5000 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.

Модуль гальванічної розв'язки забезпечує вимірювання напруги і струму збудження і передає аналогові пропорційні сигнали в модуль керування DECS-300. Він також забезпечує ізоляцію DECS-300 від обмотки збудження. Ці аналогові

сигнали напруги прикладаються до DECS-300 через кабель, підключений між двома з'єднувачами (P1 на DECS-300 і J1 на модулі гальванічної розв'язки). Робоча напруга живлення для чутливих елементів в модулі і гальванічної розв'язки надходить від DECS-300 через той же кабель.

Сучасна система керування DECS-300 робить можливими два режими роботи – пасивний та активний – та забезпечує м'який перехід між режимами. Програмне забезпечення здійснює також зв'язок між блоками, забезпечуючи автоматичний супровід і передачу управління між блоками DECS-300. Система може також зв'язуватися з ПК через порт RS-232 на передній панелі для місцевого програмування і вимірювання, а також взаємодіяти через протокол Modbus™ заднього порту RS-485 для зв'язку на відстань до 4000 футів від блоку DECS-300. Ця система має всі властивості, функціональні можливості, гнучкість і можливість програмування, які характерні для сучасних пристроїв з мікропрограмним управлінням. Це дозволяє інтегрувати системи DECS-300 в загальну систему автоматизації СЕЕС на базі контролерів DEIF Delomatic-4.

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

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

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

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

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

Властивості

- Мікропроцесорне управління;
- Зчитування істинного середньоквадратичного діючого значення (RMS), одно- та трифазного;
- Керуючі виходи: аналогові виходи 4-20 mA, 0-20 V пост. струму або ± 10 V В пост. струму;
- Точність регулювання напруги: 0.25%;
- Налаштування з передньої панелі НМІ (інтерфейсу «людина-машина») або з персонального комп'ютера (ПК) за допомогою безкоштовного налаштовувального програмного забезпечення під операційною системою Windows;
- Вибір 40 варіантів стандартної стабільності;

- Вибір стабільності, що налаштовується користувачем, з двома групами налаштувань ПД-регулювання;
- Компенсація паралельності;
- Компенсація падіння в лини;
- Компенсація зниженої частоти або обмежувач відносини V / Hz ;
- Наростання плавного пуску;
- Режим регулювання струму збудження (Ручний режим);
- Автоматичний супровід робочих режимів і між блоками DECS-300;
- Автоматична передача управління резервному блоку DECS-300;
- Дистанційне керування заданими значеннями через:
 - контактні входи - пропорційне керування через $\pm 10 \text{ V}$ пост. струму або 4-20 mA;
 - зв'язкові входи RS-232 (ASCII) або RS-485 (ModbusTM);
- Обмежувач мінімального збудження (внутрішньо генерований або налаштовується;
- Обмежувачі максимального збудження при роботі в оперативному і автономному режимах;
- Обмежувач струму статора;
- Контролери реактивної потужності і коефіцієнта потужності;
- Запис послідовності подій;
- Узгодження напруги.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Регулювання напруги

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

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

Підйом напруги при плавному пуску

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

Вихідні сигнали

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

Компенсація паралельності

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

Стабільність

Додатковий вбудований стабілізатор системи живлення (Power System Stabilizer, PSS) являє собою пристрій IEEE 421.5 типу PSS2A/2B/2C з подвійним входом. Він є стабілізатором "інтеграла прискорюючої потужності", що забезпечує додаткове гасіння низькочастотних локальних пульсацій та пульсацій системи живлення.

Функції PSS включають вибирається користувачем вимір тільки швидкості, вимір потужності методом трьох ватметрів, додаткові дії на основі частоти, режими контролю генератора та двигуна та блокування за швидкістю зміни частоти.

Примітка

Для роботи PSS потрібен вимір трифазного струму.

Контрольна функція забезпечує роботу PSS лише за умови, що на генератор подається достатнє навантаження. Для підгонки роботи стабілізатора під два різні стани навантаження використовуються дві окремі групи установок PSS.

Контрольна функція

Коли увімкнено керування PSS, налаштування порога включення визначає рівень потужності (у ватах), при якому автоматично починається робота PSS. Цей поріг є налаштуванням однієї одиниці устаткування виходячи з номінальних параметрів генератора.

Налаштування гістерезису забезпечує запас нижче порога включення, щоб короточасні падіння потужності (у ватах) не відключали стабілізатор системи потужності. Цей гістерезис є налаштуванням для однієї одиниці обладнання на підставі номінальних параметрів генератора

Групи налаштувань

Коли увімкнено вибір групи налаштувань, налаштування порога встановлює рівень потужності, якщо якому настройки коефіцієнтів PSS перемикаються з першої групи налаштувань на другу. Після перемикання на другу групу налаштувань коефіцієнтів налаштування гістерезису визначає рівень (зниження) потужності, при якому виконається зворотнє перемикання на першу групу налаштувань коефіцієнтів.

Функція швидкості зміни PSS регулює вихід PSS для компенсації швидкості зміни частоти генератора, що перевищує заданий користувачем поріг. Регулювання цього порогового значення проводиться у діапазоні 0-10 Гц на секунду. Коли протягом заданої користувачем затримки перевищується поріг зміни частоти генератора, вихід PSS наводиться до нуля та потім лінійно збільшується до свого попереднього номінального значення протягом періоду, встановленого користувачем у вигляді таймера блокування. І час затримки, і час блокування регулюється в межах від 0 до 20 секунд. Для розрахунку швидкості зміни використовуються постійна часу фільтра нижніх частот і постійна часу виділяє фільтра. Діапазон регулювання цих двох установок становить від 0 до 20 секунд.

Стабілізатор енергосистеми DECS-300

Принцип роботи

У PSS застосовується непрямий метод стабілізації енергосистеми, який використовує два сигнали: швидкість обертання валу та електричну потужність. Цей метод усуває небажані компоненти із сигналу швидкості (такі як шум, бічний

зсув валу або торсіонні коливання) та при цьому не залежить від важковимірюваного сигналу механічної потужності.

Робота PSS проілюстрована за допомогою функціональних блоків та програмних перемикачів на рис. 3.16.

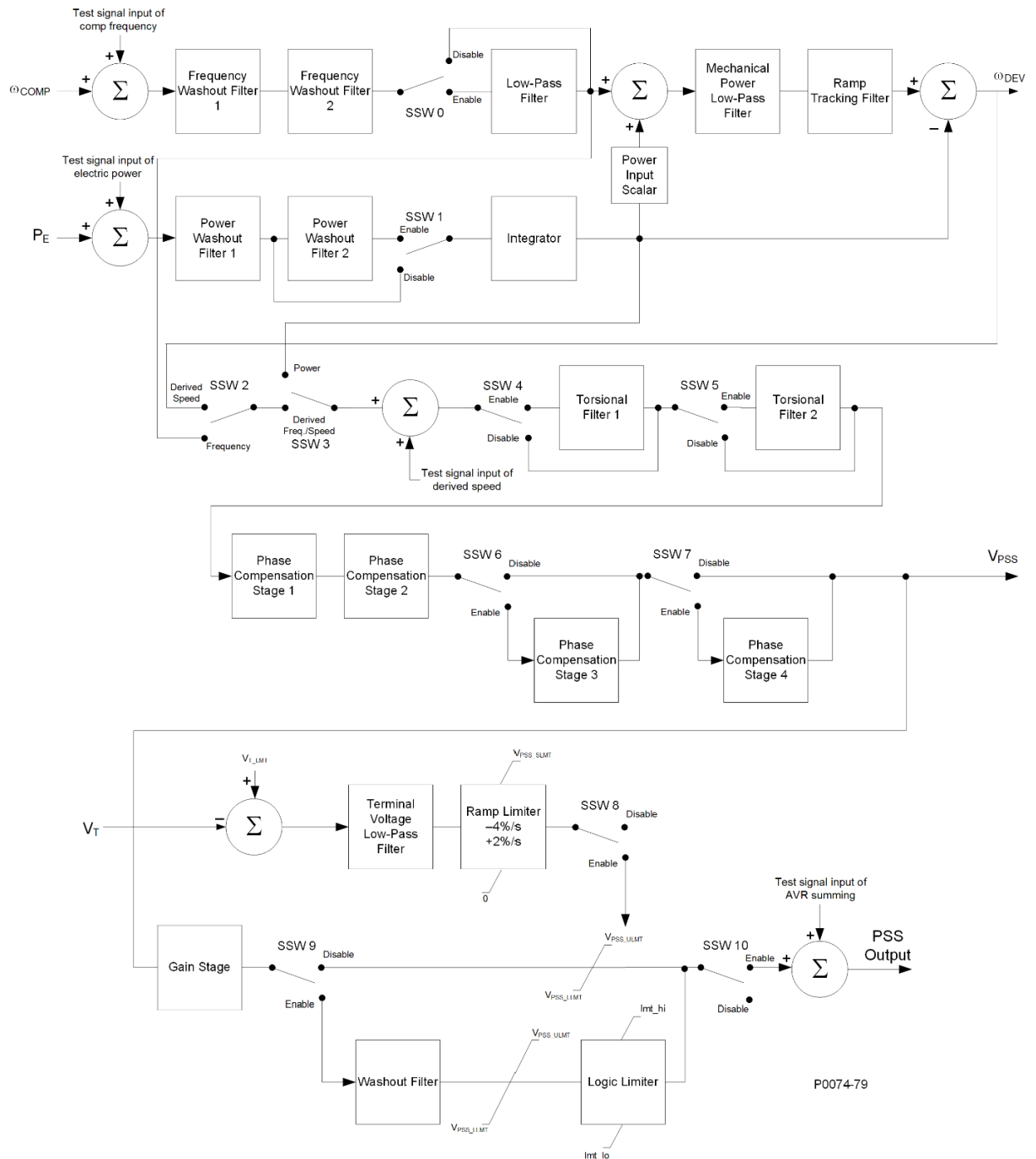


Рисунок 3.16. – Функціональні блоки та перемикачі PSS

Робочий режим регулювання струму збудження

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

Робочий режим контролера реактивної потужності / коефіцієнта потужності

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

Обмежувачі максимального збудження

Обмеження перезбудження (OEL) працює у всіх режимах, крім режиму FCR. OEL зчитує вихід струму збудження регулятора напруги або статичного збудника і обмежує струм збудження, перешкоджаючи перегріву збудження. У режимі FCR DECS-300 тільки сповіщає про те, що виконані всі умови для OEL, але не забезпечено обмеження. DECS-300 режимі можливі два види обмеження перезбудження: точки підсумовування і прийняття на себе.

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

- Mode PTI: рівень струму збудження, при якому відбувається обмеження, визначається характеристикою з зворотною залежністю від часу. Два

рівня струмів і часова настройка задаються для обмежувача OEL. Окремі криві можуть бути обрані для оперативного і автономного режимів роботи. Якщо система увійшла в стан перезбудження, то струм збудження обмежується і слідує за обраною кривою. Вибір рівнів / кривих OEL для оперативного і автономного режимів роботи визначається вибором опції OEL.

Обмежувач мінімального збудження

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

Обмежувач струму статора

Обмежувач струму статора (SCL) сприймає рівень струму статора і обмежує його, перешкоджаючи перегріву статора. SCL працює у всіх режимах, за винятком FCR. У режимі FCR DECS-300 тільки сповіщає про наявність умов для перегріву, але не забезпечує обмеження струму. Передбачені два рівня струму SCL: верхній і нижній. Генератор може працювати безперервно при нижньому рівні струму SCL і тільки протягом запрограмованого часу при верхньому рівні струму SCL.

Захисні функції

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

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

3.6 Перевірка кабелю одного з найбільш віддаленого електропривода на втрату напруги

Розрахуємо втрату напруги в кабелі підрулюючого пристрою з робочим струмом двигуна 262 А при номінальній напрузі 6600 V.

Допустиме струмове навантаження кабелю можна визначити по формулі:

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

де I_1 -тривало допустиме струмове навантаження для одножильного кабелю;

k_n - поправочний коефіцієнт, враховуючий кількість жил в кабелю;

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

k_T - 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 етиленпропиленусумарним перерізом жил 300 mm² з наступними характеристиками: $I_1=480$ А, $k_n=0.8$ для трижильного кабелю, $k_{\text{реж}}=1.3$ для ПВ 40% при $I_1=500$ А, $k_T=1$ для температури 45°C, $k_{\text{Пр}}=0.85$ для випадку, коли доступ повітря утруднений, у нашому випадку прокладка кабелю проходить у кабельній трасі:

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

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

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

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

Визначимо падіння напруги для вибраного кабелю: $s=300$ mm², $U_n=6600$ V, $I_{\text{роз.}}=424$ А, $l=375$ м.

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

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

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

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

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

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

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

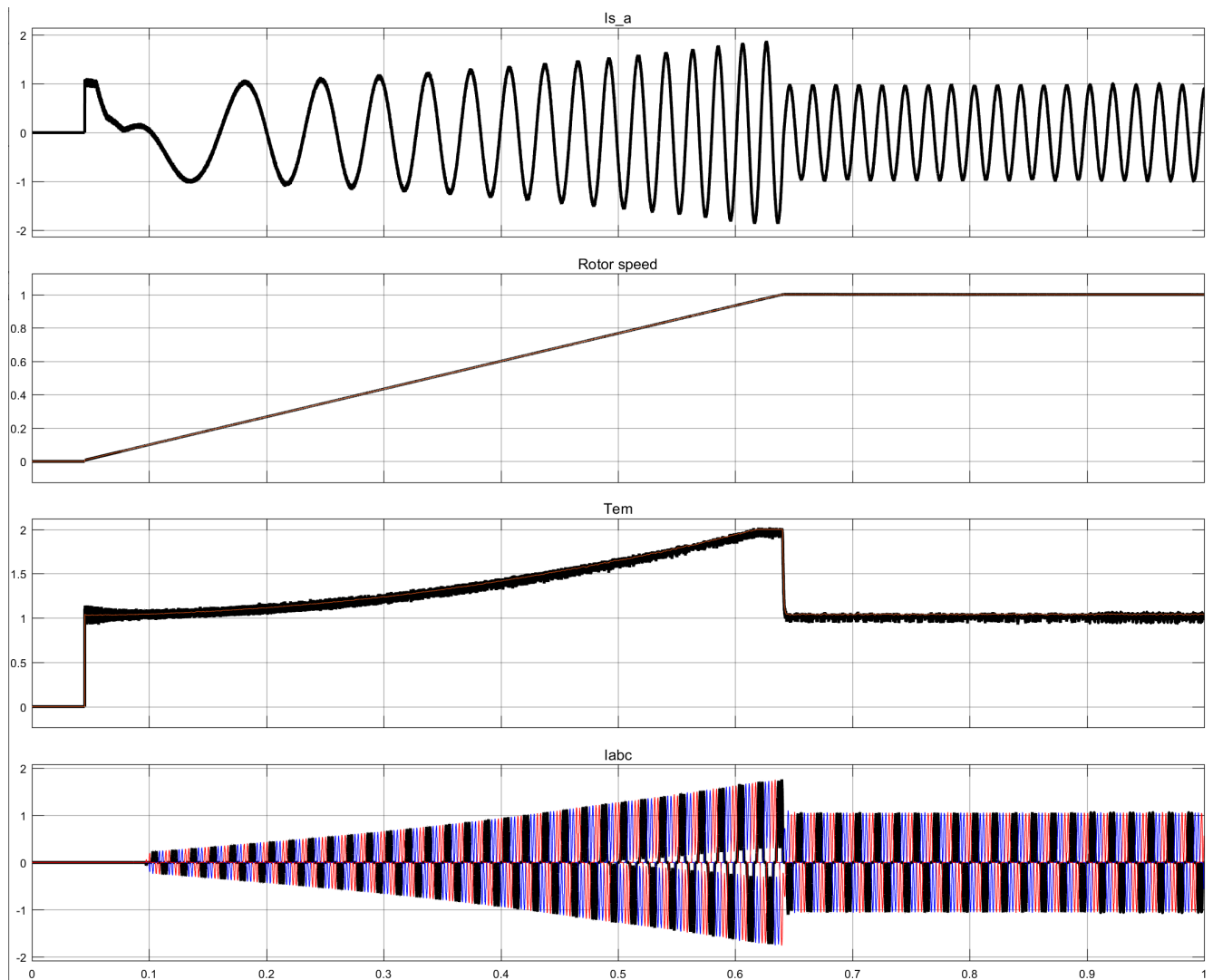


Рисунок 3.16 – Графіки перехідних процесів в системі «ПЧ–АД» при вентиляторному навантаженні у відносних одиницях

Початкові дані електроприводу підрулюючого пристрою:

- Сумарна потужність: 2500 kW;
- Номінальна напруга 6600 В;
- $\cos \varphi$: 0.98
- Номінальний струм: 218 А;
- Кратність пускового струму (номінальна): 2;
- Метод пуску: Перетворювач частоти з векторним керуванням.

Генератор:

- Потужність 4467 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.

$$P_n = \sqrt{3} \cdot \frac{6600}{1000} \cdot 218 \cdot 2 \cdot 0.98 = 4870 \text{ kW}$$

Оскільки потужність при пуску такого двигуна більше потужності одного генератора, то для роботи підрулюючим пристроєм необхідно запускати 2 генератори одночасно ($2 \cdot 3200 = 6400 \text{ kW} / 8000 \text{ kVA}$). Розрахунок провалу напруги виконаємо при двох працюючих однакових генераторах. Тоді їх загальні опори будуть рівні:

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

Визначимо реактивний опір двигуна:

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

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

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

K_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:

$$x_\phi = \frac{4467 + 3800}{4870} \cdot \left(\frac{6600}{6600} \right)^2 = 1.697$$

Початкова напруга:

$$U_{нач} = \frac{x_{\delta}}{x_{\delta} + x'_{\delta}} = \frac{1.697}{1.697 + 0.0585} = 0.967 \quad (3.33)$$

Стала напруга:

$$U_{уст} = \frac{x_{\delta}}{x_{\delta} + x_d} = \frac{1.697}{1.697 + 0.509} = 0.769 \quad (3.34)$$

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

$$\tau'_d = \tau'_{d0} \cdot \frac{x_{\delta} + x'_d}{x_{\delta} + x_d} = 1.73 \cdot \frac{1.697 + 0.0585}{1.697 + 0.509} = 1.366 \quad (3.35)$$

Час досягнення мінімального значення напруги для генераторів з самозбудженням.

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

З формули (3.36) $K=20$, а K_2 буде:

$$K_2 = \frac{x_{\delta}}{x_{\delta} + x_d} = \frac{1.697}{1.697 + 0.509} = 0.769 \quad (3.37)$$

$$t_{min} = 1.29 \cdot \ln \left(\frac{0.967 - 0.769}{0.769 \cdot 20 \cdot 1.29} + 1 \right) = 0.01587 \text{ s}$$

Значення мінімальної напруги:

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

$$U_{min} = 0.769 + (0.967 - 0.769) \cdot e^{\frac{-0.016}{1.29}} + 0.769 \cdot 2 \cdot \left[0.016 - 1.29 \cdot \left(1 - e^{\frac{-0.016}{1.29}} \right) \right] = 0.956$$

Максимальний провал напруги:

$$\Delta U_{max} = (1 - U_{min}) \cdot 100\% = (1 - 0.956) \cdot 100 = 4.4 \% \quad (3.39)$$

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

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

3.7.1. Система автоматизації СЕЕС

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

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



Рисунок 3.17 – ГРЩ судна з контролерами DEIF

Основні функціональні можливості контролерів DM-4:

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

Загальний опис контролера суднової електростанції DM-4

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DM-4 мережі

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

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

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

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

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

Контролер генераторного агрегату (DGU)

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

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

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

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

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

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

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

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

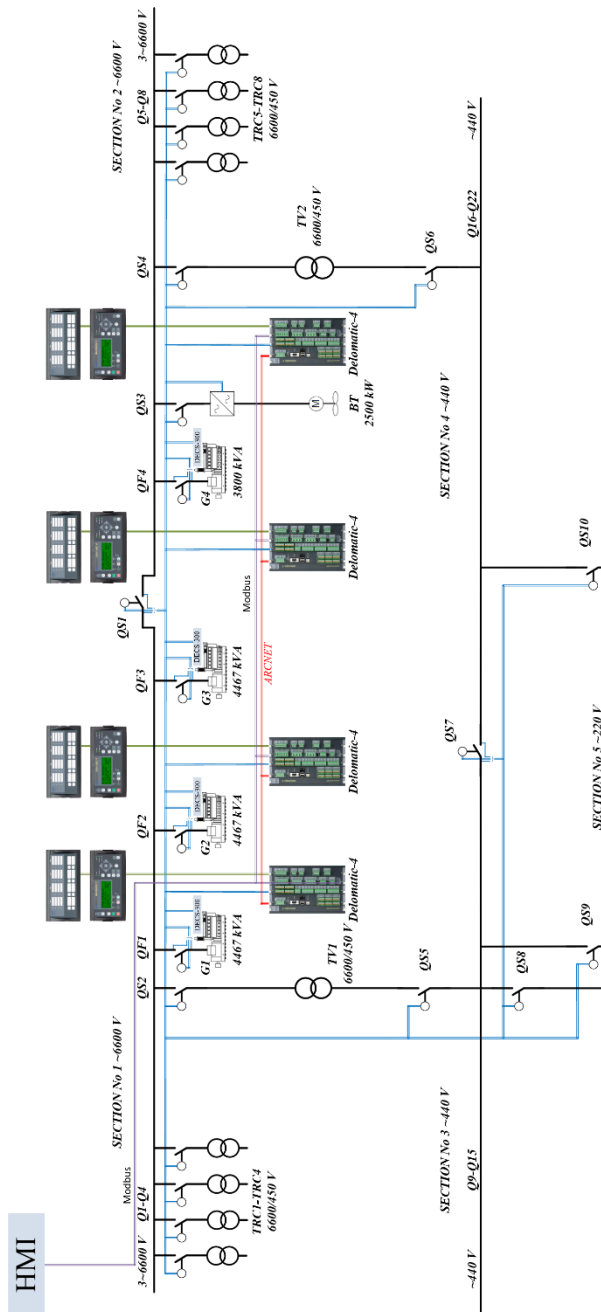
Безпека: Згідно EN 61010-1, категорія перенапруги III 600V AC.

3.7.5. Загальні відомості про систему управління електростанцією

Система складається з Блоків Управління Генераторами (Deif Generator Unit-DGU), їх Панелей Управління (ПУ) (Control Panel-CP) і програмного забезпечення. Взаємодія блоків DGU між собою і зі своїми панелями управління (CP) здійснюється за допомогою мережі ARC-network (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). Структурна схема АСУ СЕЕС приведена на рис. 3.19.

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

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



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

При управлінні електростанцією з системою PMS можливе завдання наступних режимів:

- 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

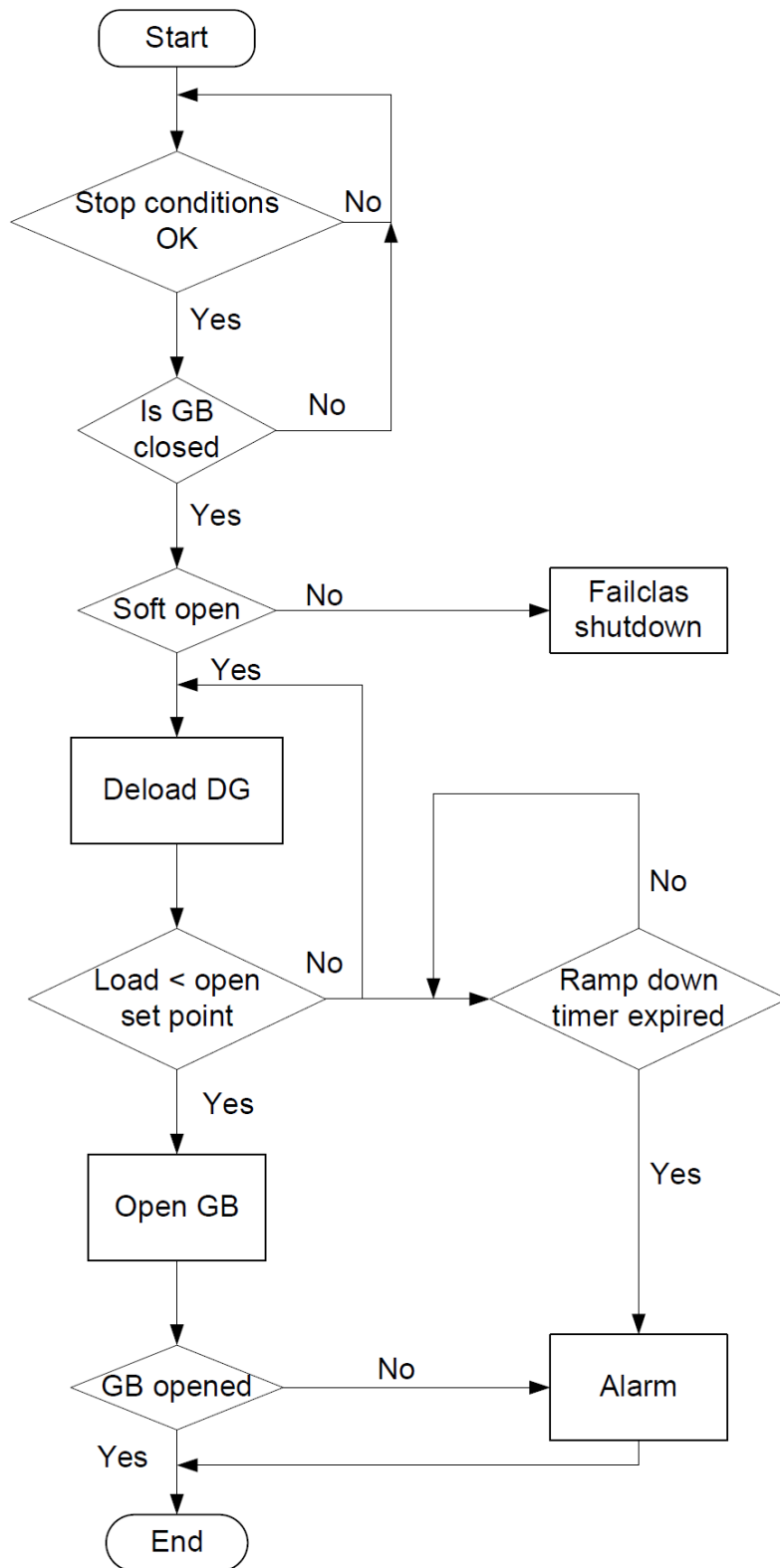
В цьому режимі генераторний агрегат виведений з автоматичного режиму управління. DGU забезпечує тільки такі функції захисту генераторного агрегату:

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

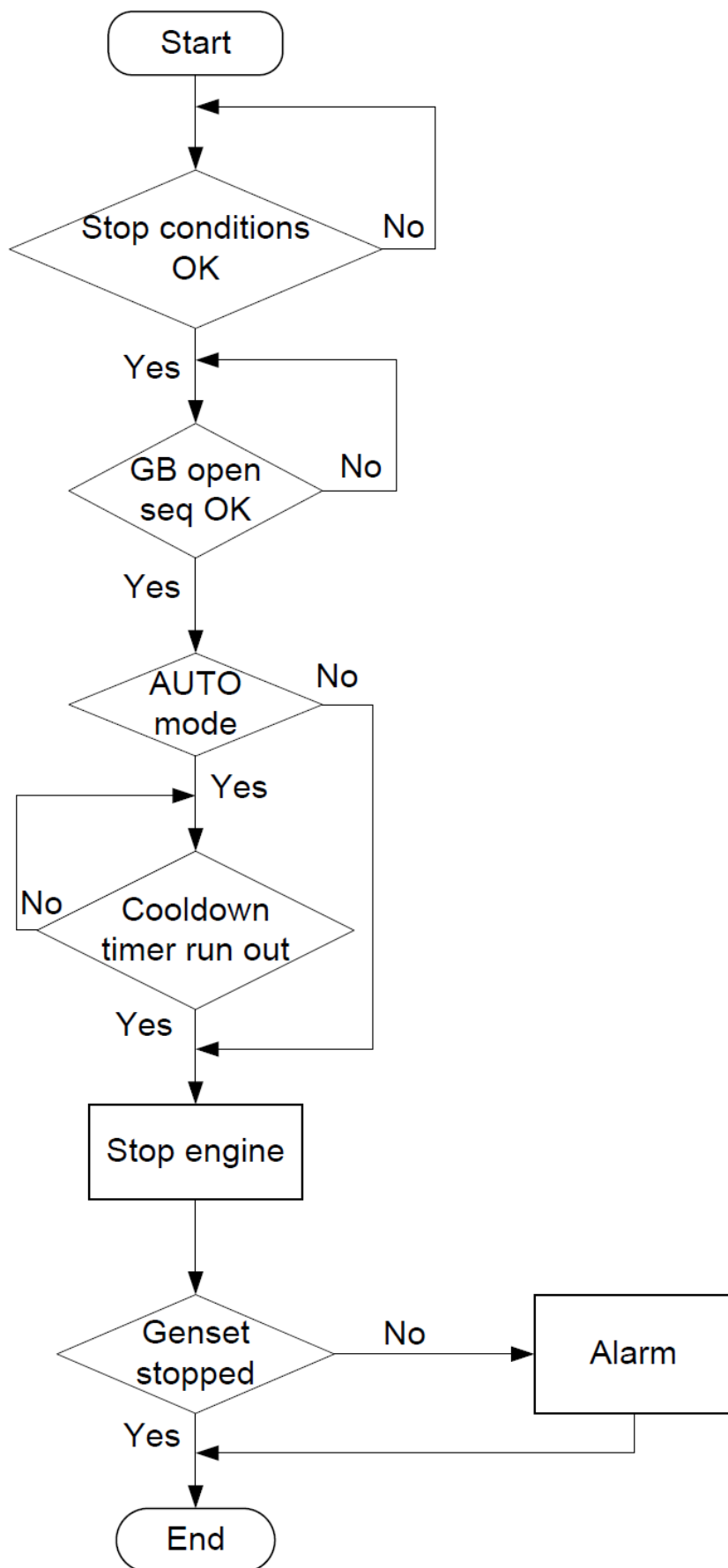
3.9. Функції зупинки, пуску та синхронізації дизель-генераторів

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

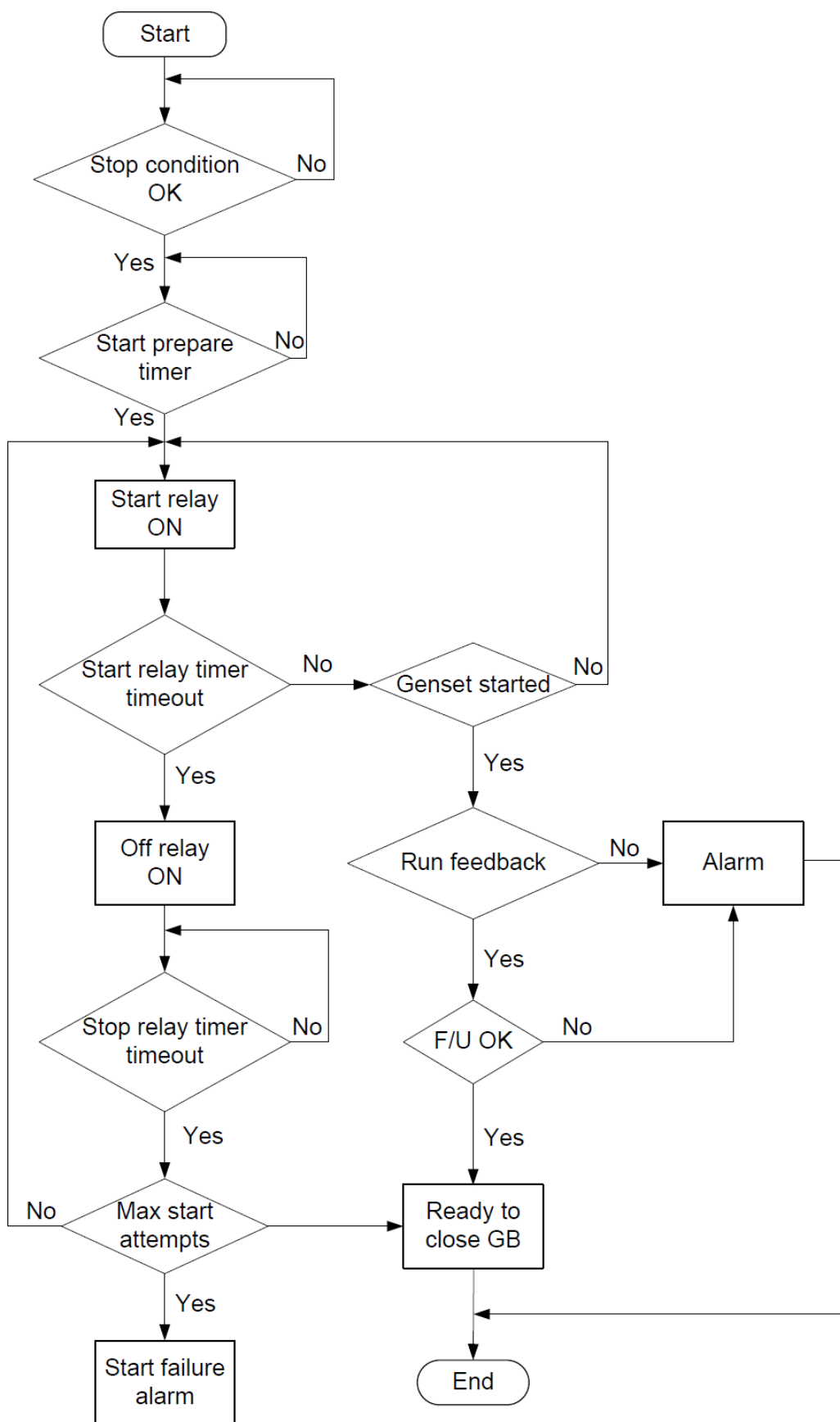
Алгоритм процедуры відключення Generator Breaker



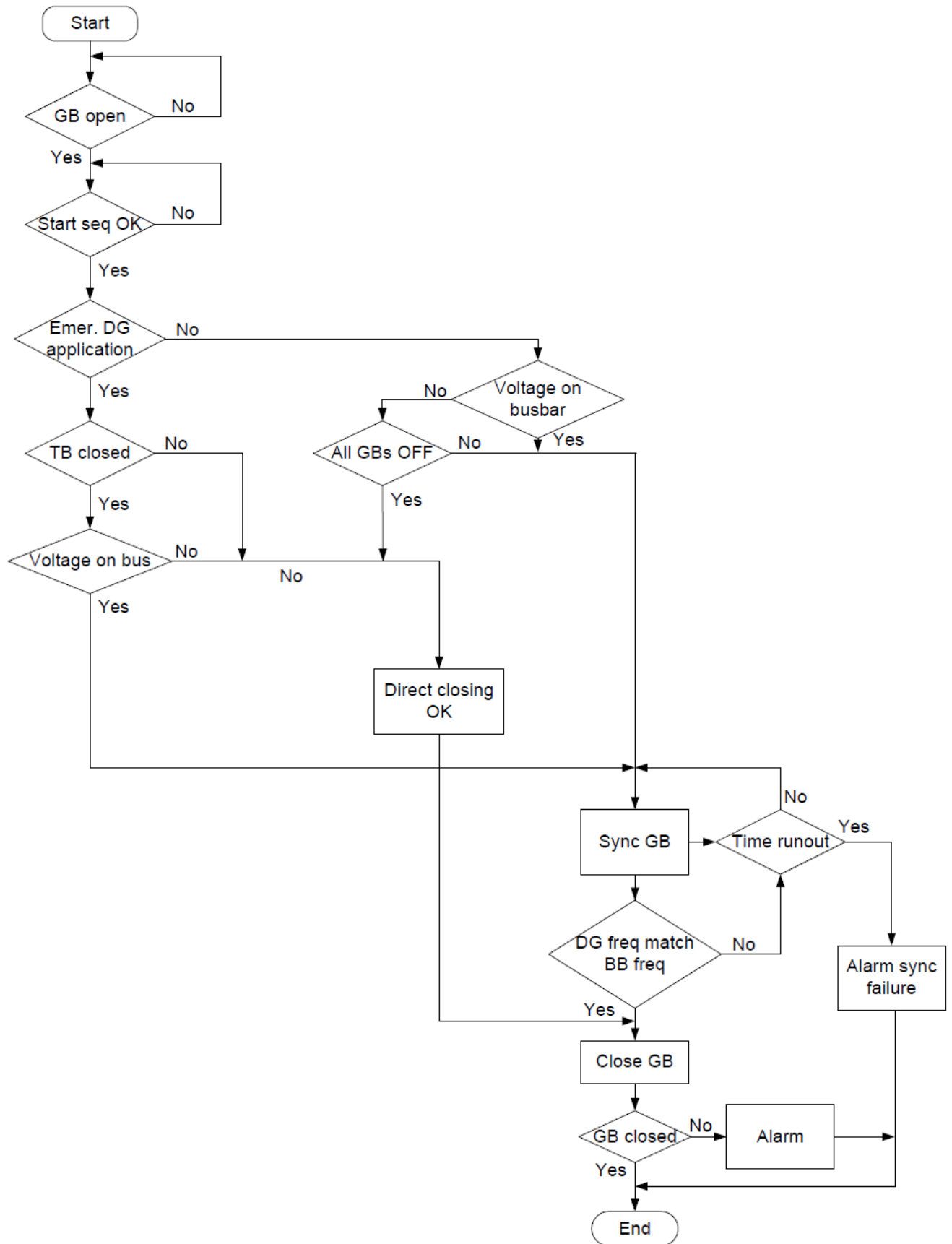
Зупинка ДГ



Запуск ДГ



Вмикання Generator Breaker



4. АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА ПРИСТРОЇВ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

4.1. Система дистанційного управління ГД

Система дистанційного автоматизованого управління (ДАУ) Auto Chief C20 двигуном типу MAN B&W-ME-C 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 центральному посту керування встановлені: Data chief C20 (система сигналізації та моніторингу), система машинного телеграфу, табло маневрене, сигнальне і виконуваних операцій (мнемосхема); головний вимикач, що встановлює режим керування двигуном; маневрений пост керування двигуном.

На ходовому містку встановлений машинний телеграф (основний і два на крилах містка, зв'язані між собою механічно), табло маневрене, сигнальне і виконуваних операцій (мнемосхема), самописець виконуваних команд.

Живлення системи ДАУ здійснюється змінною напругою 440 й 220 В і постійною напругою 24В. Система ДАУ керує електричним актуатором реверсування й повітряною системою пуску двигуна.

Схема ДАУ забезпечує підвищення частоти обертання двигуна до номінальної по нормальній програмі без якого-небудь додаткового втручання.

Уповільнена програма використовується звичайно при підвищенні частоті обертання двигуна від 80 до 101 об/хв. для поступового прогріву СДВЗ, для зменшення його теплових навантажень. Прискорена програма використовується тільки при аварійній ситуації.

Система автоматизації Auto Chief C20 - це система управління, модульний проект якої дозволяє налаштовувати систему до індивідуальних умов і складається з системи сигналізації та моніторингу, допоміжної системи контролю, системи розподілення потужності, системи автоматизації баласту, HVAC (кондиціонування повітря), системи підтримка керування.

Система управління розроблена для дистанційного управління головним двигуном від телеграфу. Переміщуючи цей важіль, система автоматично почне виводити двигун на задану швидкість.

Головними компонентами системи Auto Chief C20 є панель управління, система дистанційного управління, система машинного телеграфу, система безпеки головного двигуна, система цифрового регулятора, реєстратор маневрів.

Система Auto Chief C20 виконує вимоги IMO, IACS та одинадцяти кваліфікаційних організацій. Вона розроблена для того, щоб полегшити роботу і дати можливість без вартового режиму роботи в машинному відділенні.

Система безпеки головного двигуна має такі функції: Shut Down Warning; Cancel Shut Down; Shut Down Active; Slow Down Warning; Cancel Slow Down; Slow Down Active; Over-speed; Emergency Stop.

4.1.1. Структурна схема та алгоритм системи керування обертання валу головного двигуна

Розглянемо систему контролю обертання валу головного двигуна. Вона складається з панелі Auto Chief (ACP), регулятора (GOV), серво-блоку, електричного актуатора, системи зчитування оборотів на валу ГД.

Функціональну схему системи контролю обертання головного двигуна наведено на рис. 4.1.

Функції регулятора:

- контроль швидкості ГД та відповідності цієї швидкості до заданої уставки оператором;
- захист двигуна від перенавантаження;

- постійна підтримка потрібної кількості пального;
- змащення циліндрів залежно від навантаження.

Функції актуатора:

- підтримка та керування паливної рейки в правильному положенні, в залежності від заданого регулятором;
- при несправності блокування пального для зменшення швидкості.

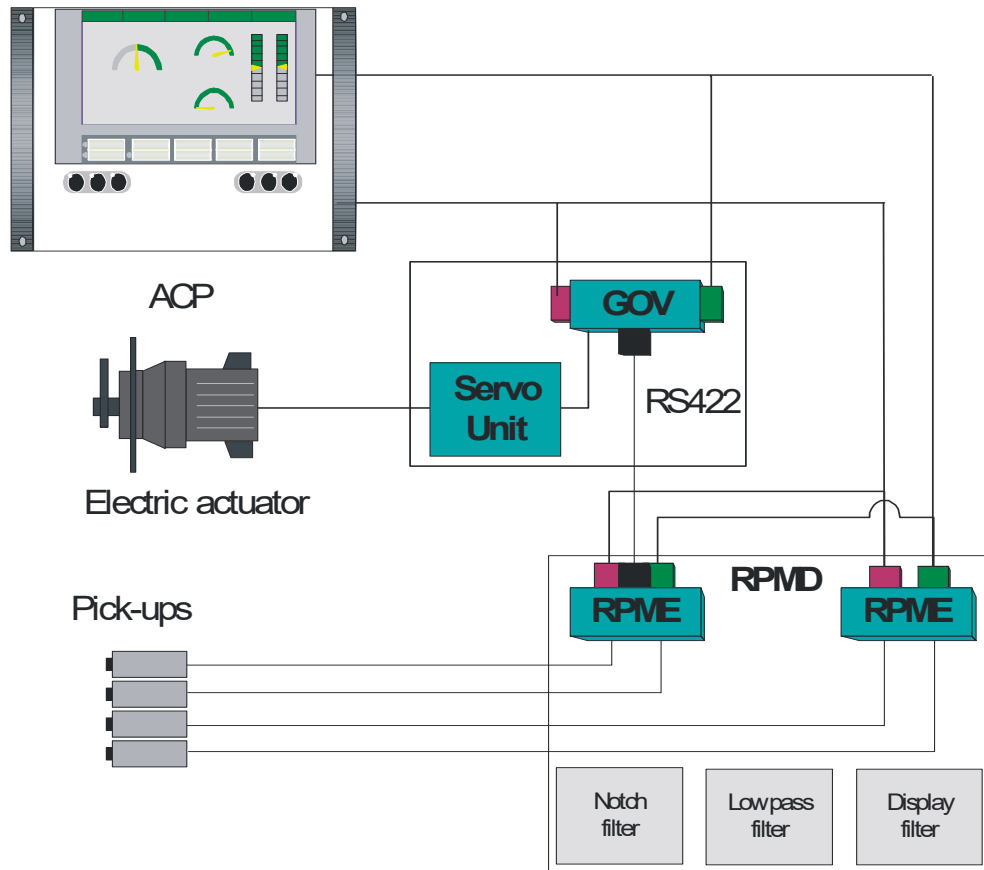


Рисунок 4.1 – Функціональна схема системи контролю обертання валу ГД

Якщо управлінням ДАУ ГД з містка, то управління регулятора здійснює дистанційна система керування. Якщо управління ГД з машинного відділення, то управлінням регулятора буде займатися Auto Chief C20, який знаходиться в ЦПУ.

Система зчитування обертів на валу ГД працює наступним чином. Auto Chief C20 системи регулятора відсилає оберти ГД до Auto Chief C20 системи зчитування обертів ГД, інформація передається за допомогою комунікаційних ліній RS-422, а

потім інформація повертається до Auto Chief C20 за допомогою комунікаційної сітки CAN.

4.1.2. ГСА алгоритму системи контролю обертання валу ГД

Для організації прогностичного контролю вибираємо період τ - це період опитування всіх датчиків заданого об'єкта. Хоча процеси в ГД не дуже швидкоплинні, з огляду на відносно невелику кількість датчиків і високу швидкодію сучасних ЕОМ, приймаємо період опитування датчиків τ рівним 1 сек.

Швидкість зміни параметра обчислюється шляхом обчислення поточного значення узагальненого параметра $K_{оп}(t)$ попереднього значення узагальненого параметра $K_{оп}(t-1)$ по наступній формулі:

$$v_{коп} = \frac{K_{оп}(t-1) - K_{оп}(t)}{\tau}$$

Будемо вважати, що надалі швидкість зміни узагальненого параметра буде постійною, обчислюємо прогноз часу, коли параметр вийде за норму по формулі:

$$\Delta t = \frac{K_{оп}(t) - K(\min)}{v_{коп}}$$

Якщо отримане значення Δt виявляється менше наперед заданого $\Delta t_{доп}$, то операторові система видає сигнал, що $K_{оп}$ інтенсивно падає.

Складемо графу-схему алгоритму системи контролю обертання валу ГД із прогнозуванням (рис. 4.2).

- А1 - Опитування всіх датчиків системи;
- А2 - Визначення $K_{оп}$ у цей момент часу;
- А3 - Запам'ятовування значення $K_{оп}(t)$ і присвоєння йому індексу $K_{оп}(t-1)$;
- Р4 - Кількість опитувань датчиків більше двох?
- А5 - Визначення $v_{коп}$ — швидкості зміни $K_{оп}$ по формулі (4.1);
- А6 - Визначення часу відходу параметра за норму по формулі (4.2);

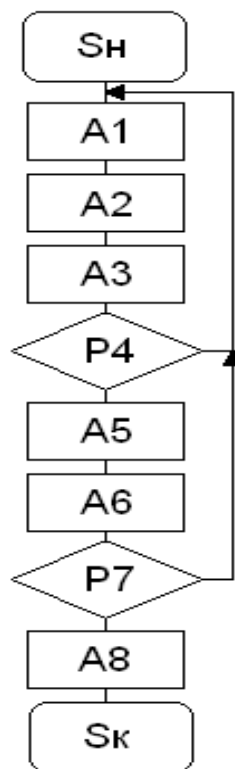


Рисунок 4.2 – Граф-схема алгоритму системи контролю обертання валу ГД

P7 - Значення Δt менше $\Delta t_{\text{доп}}$;

A8 - Видача попереджувального сигналу операторові й формування сигналів на протиаварійне керування ГД.

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

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

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

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

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

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

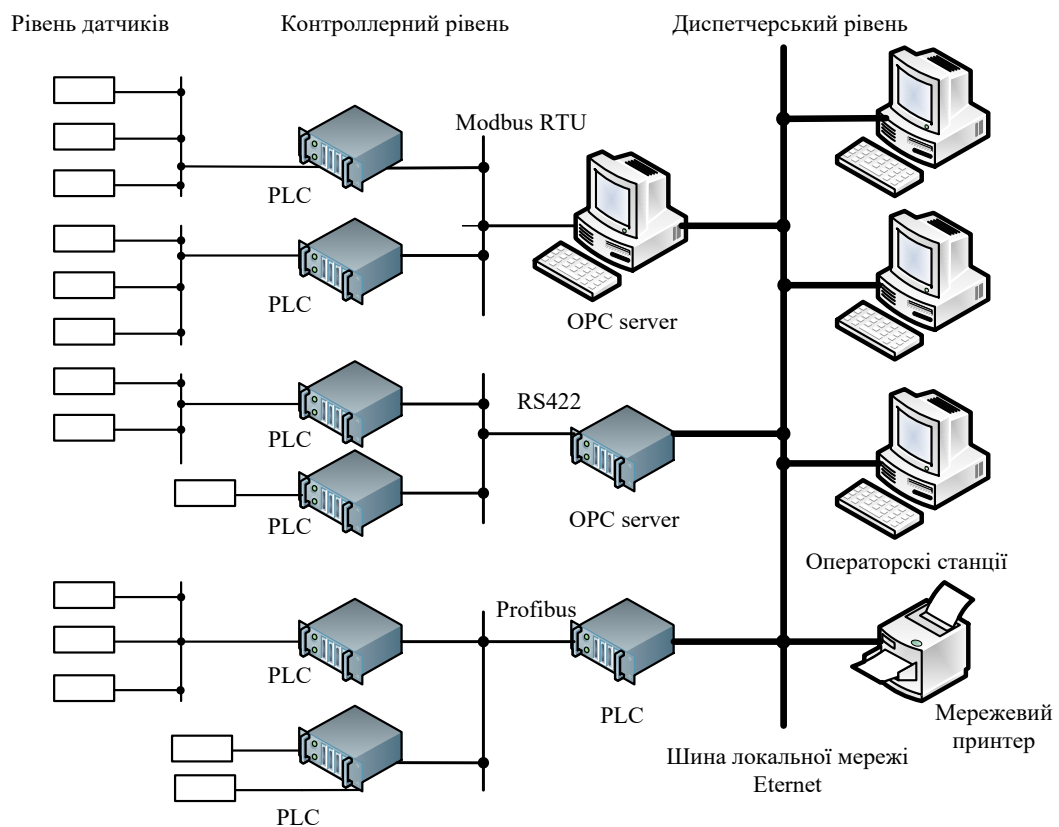


Рисунок 4.3 – Типова сучасна розподілена система автоматизації

Нижчий (нульовий) рівень включає датчики і виконавчі пристрої (актуатори): датчики температури, тиск, кінцеві вимикачі, дискретні датчики наявності напруги,

вимірювальні трансформатори, реле-пускатчі, контактори, електромагнітні клапани, електроприводи і ін. Датчики і актуатори можуть мати інтерфейси типу AS - інтерфейс (ASI), 1 - Wire або CAN, HART і ін. Перший рівень складається з програмованих логічних контролерів і модулів аналого-цифрового і дискретного введення-висновку, які обмінюються інформацією по промисловій мережі (Fieldbus) типу Modbus RTU, Modbus TCP, Profibus і ін. Іноді модулі вводу-виводу виділяють в окремий рівень ієрархії.

Другий рівень складається з робочих станцій - комп'ютерів з людино-машинним інтерфейсом (ЛМІ, НМІ – Human Machine Interface), найпоширенішими варіантами якого є SCADA -пакети. Диспетчер (оператор) здійснює спостереження за ходом технологічного процесу або управління ним за допомогою мнемосхеми на екрані монітора комп'ютера. Диспетчерський комп'ютер виконує також архівацію зібраних даних, записує дії оператора, аналізує сигнали системи технічної діагностики, дані аварійної і технологічної сигналізації, сигнали спрацювання пристроїв протиаварійних захистів, а також виконує частину алгоритмів управління технологічним процесом. Права операторів встановлюються засобами обмеження доступу мережевого серверу. Важливою частиною другого рівня є також бази даних реального часу, які є сховищами інформації і засобом обміну з третім рівнем ієрархії системи управління.

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

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

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

До складу приладу входять:

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

Система може працювати в режимі ДАУ та машинного телеграфу.

Службовий внутрішній зв'язок

При відсутності інших видів парного переговорного зв'язку повинен бути передбачений парний телефонний зв'язок між рулевою рубкою і постами керування головними механізмами, між рулевою рубкою і радіорубкою. При наявності на судні закритого або відкритого центрального поста керування повинен бути забезпечений парний переговорний зв'язок між ЦПУ і рулевою рубкою.

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

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

інших апаратів зв'язку. Телефони, які передбачені для переговорів між рулевою рубкою і місцевими постами керування головними механізмами повинні бути обладнані звуковою і світловою сигналізацією.

Авральна сигналізація

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

Система аварійно попереджувальної сигналізації (АПС)

Система аварійно попереджувальної сигналізації повинна бути незалежною від систем керування і захисних пристроїв. Система АПС повинна одночасно подавати звукові і світлові сигнали. Світлові сигнали повинні показувати причину спрацьовування АПС і, як правило, повинні бути виконані у режимі мигаючого світла.

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

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

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

Вимоги ГМССБ поширюються на:

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

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

У ГМЗСБ задіюються супутникові та наземні системи зв'язку.

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

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

КОСПАС-САРСАТ заснована на використанні низькоорбітальних супутників на біляполярній орбіті і працююча в діапазоні частот 406,0-406,1 МГц. Система забезпечує оповіщення про лихо і визначення місця розташування супутникових АРБ, що працюють в даній системі.

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

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

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

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

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

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

в режимі ЦІВ на частоті 156,525 МГц (канал 70)
по радіотелефону на частотах 156,3 МГц (канал 6), 156,65 МГц (канал 13) і 156,8 МГц (канал 16)

нести вахту в режимі ЦІВ на каналі 70

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

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

Аварійним радіобуя АРБ.

Портативними аварійними УКВ радіостанціями.

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

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

Мінімальний склад 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, мікротелефонної слухавкою і вбудованим або виносним гучномовцем;
- пристрій ЦІВ (вбудоване або окреме);
- приймач для несення безперервної вахти ЦІВ на частоті лиха 2187,5 кГц.

Радіоустановка працює на виділених для морської рухомої служби частотах в діапазоні 1605 - 4000 кГц

ПХ / КХ-радіоустановка

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

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

Для консолі Sailor H2192 вона включає в себе:

- приємозбудитель 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 судового радара, антена якого встановлена на висоті 15 метрів і не менше 30 морських миль при запиті авіаційного радара з потужністю імпульсу не менше 10 кВт, встановленого на борту літального апарата, що перебуває на висоті 1000м.

Приймач служби НАВТЕКС

НАВТЕКС (навігаційний телекс) - міжнародна автоматизована система передачі навігаційних і метеорологічних попереджень і термінової інформації в режимі вузькосмугового букводрукування. Служба використовує спеціально виділену для цих цілей частоту 518 кГц, на якій берегові станції передають інформацію англійською мовою, розподіливши, щоб уникнути взаємних перешкод,

час роботи кожної станції за розкладом. НАВТЕКС є компонентом Всесвітньої служби навігаційних попереджень, прийнятої Резолюцією Асамблеї А.419 (XI), і входить до складу ГМЗСБ.

Однією з характерних особливостей розвитку сучасного морського флоту є підвищення швидкості судна. Це створило перед навігаційним обладнанням складну задачу – забезпечити безпеку мореплавання суден. У рішенні цієї задачі важливе місце займає створення гірокомпасів, які могли б при високій швидкості і відповідно кращій маневреності суден, видавати справжній курс з високою точністю. На судні встановлено два гірокомпаси типу ANSHUTZ St.4 DHI-02G та ТОКИМЕС TG-3000, а також магнітний компас John Lilley & Gillie Type SR.2, для забезпечення утримання курсу судна. На крилах містка встановлено по одному репітеру для пеленгування. Репітери встановлено також і в навігаційній рубці, та рульовий. Живлення гірокомпаса здійснюється трифазним струмом через понижувальний трансформатор 440/115В.

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

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

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

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі виконано аналіз електротехнічних систем судна типу контейнеровоз місткістю 6670 контейнерів. 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.

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