

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

Навчально-науковий інститут автоматики та електромеханіки
Кафедра електрообладнання і автоматики суден

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА
на тему:

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЄДИНОЇ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ БАГАТОЦІЛЬОВОГО СУДНА**

Виконав: студент 6 курсу, ЗФН
спеціальності 271 «Річковий та морський транспорт»,
ОПП «Експлуатація суднового електрообладнання і
засобів автоматики»
(шифр і назва спеціальності, назва ОПП)

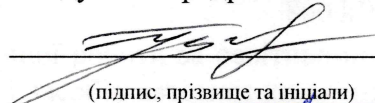
Петков Ігор Віталійович

(підпис, прізвище та ініціали)

Допущений до захисту 20.06.2022

(дата малого захисту)

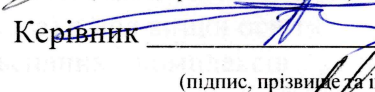
завідувач кафедри ЕОіАС



І. М. Гвоздева

(підпис, прізвище та ініціали)

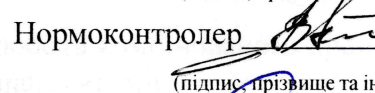
Керівник



В.В. Будашко

(підпис, прізвище та ініціали)

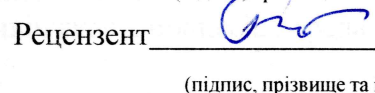
Нормоконтролер



В.В. Лещенко

(підпис, прізвище та ініціали)

Рецензент



(підпис, прізвище та ініціали)

м. Одеса – 2022 рік

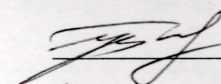
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Навчально-науковий інститут автоматики та електромеханіки

Кафедра електрообладнання і автоматики суден

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ЕОіАС


 I. М Гвоздева
 « 20 » 06 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на атестаційну дипломну роботу

Петкова Ігора Віталійовича

Тема випускової атестаційної роботи

**«Дослідження енергетичних процесів єдиної електроенергетичної системи ба-
гатоцільового судна»**

затверджена наказом ректора академії від 22 грудня 2020 р. № 1962

1. Термін здачі курсантом закінченої роботи до 20.06.2022 р.
2. Вихідні дані до роботи: характеристика пропульсивного комплексу
 - головний двигун (ГД): 3516 В 1600 kW
 - гвинти: 2 ГФК 1010 1200 kW/347 RPM
 - головні дизель-генератори (ДГ): 4x1600 kW;
 - електричні двигуни: 5
 - тунельний підрулюючий пристрій (ПП): 1
 - азимутальний ПП: 2
 - аварійний ДГ
 - Азимутальні гвинти: 800 kW / 325 RPM
800 kW / 1750 RPM

3. Дослідницька частина кваліфікаційної роботи за освітньо-професійною програмою Експлуатація суднового електрообладнання і засобів автоматики спеціальності 271 «Річковий та морський транспорт другого (магістерського) рівня вищої освіти:

- 4.1 Аналіз комбінованих пропульсивних комплексів з підрулюючими пристроями різноманітної комплектації
- 4.2 Дослідження часткових режимів роботи комбінованого пропульсивного комплексу
- 4.3 Зв'язок досліджень із сучасними напрямками
- 4.4 Забезпечення динамічних показників якості процесів передачі енергії в умовах різновекторних навантажень
- 4.5 Визначення критеріїв застосування стратегій управління енергоспоживанням
- 4.6 Методика створення математичних моделей електроенергетичних систем з багатопослинними конструкціями
- 4.7 Удосконалення системи контролю та управління енергетичними процесами
- 4.8 Методологія синтезу багатокритеріальних стратегій управління розподілом потужності
- 4.9 Математичне моделювання суднового пропульсивного комплексу

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Аналітичний огляд науково-технічної літератури по темі дослідження. Обґрунтування теми дослідження, її актуальності та новизни.	01.04.22-15.04.22	
2.	Підготовка тез з постановою задач дослідження та доповідь на науково-методичну конференцію "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика (SEEA-2021)".	16.11.21-30.11.21	
3.	Загальний опис судна, його головної силової установки і допоміжних систем	16.04.22-1.05.22	
4.	Аналіз комбінованих пропульсивних комплексів з підрулюючими пристроями різноманітної комплектації	1.04.22-11.04.22	
5.	Постановка задачі моделювання, обґрунтування допущень, оцінка адекватності моделі, розробка алгоритму проведення моделювання.	12.04.22-30.04.22	
6.	Дослідження часткових режимів роботи комбінованого пропульсивного комплексу в МатЛаб Симулінк	12.04.22-30.04.22	
8.	Аналіз результатів моделювання	01.05.22-11.05.22	
9.	Математичне моделювання суднового пропульсивного комплексу	12.05.22-31.05.22	
10.	Комп'ютерне моделювання конфігурацій ПП з урахуванням типізації технологічного процесу	01.06.22-6.06.22	
11.	Оформлення дипломної роботи. Підготовка презентації і плакатів.	07.06.22-13.06.22	

Курсант-дипломник

(підпис)

Петков І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Будашко В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний робота складається із записки пояснення на 90 сторінках, 6 аркушів графічної частини і списку літератури з 54 джерел.

Виходячи з розрахунків компонент x -швидкості на перетині потоку гвинтів вздовж осі обертання з розмірами в одиницях діаметра гвинта для судини в режимі динамічного позиціонування, метод орієнтації поверхні Рейнольдса-Нав'є -Стоки рівняння для масового перенесення на лінії розділення середовища з різними коефіцієнтами властивостей.

Обмеження потужності та крутного моменту на лініях гребного валу забезпечується перерозподілом акценту між двигунами або зменшенням максимальної навантаження.

Трирівнева багатокритеріальна стратегія управління розподілом енергії на гібридній морській електростанції комбінованого рушійного комплексу була розроблена шляхом інтеграції класичної стратегії управління енергією з стратегією управління та моніторингу стану середньошвидкісного дизельного генератора та ступінь заряду елемента альтернативного генератора системи накопичення енергії.

У розділі математичного моделювання в пакеті *MatLab* проведено розрахунок провалу напруги і частоти при паралельній роботі трьох генераторів в маневреному режимі і пуску асинхронного електродвигуна підрулюючого пристрою потужністю 800 КВт. Також в дипломному проекті розглянуті питання комплексної автоматизації суднової електроенергетичної установки і судна в цілому.

ABSTRACT

The graduation thesis consists of 90 pages of explanatory notes, 6 pages of the graphical part and the list of publications.

1. Based on the calculations of the x-velocity components at the intersection of the screw flow along the rotation axis with the dimensions in units of the screw diameter for the vessel in dynamic positioning mode, the method of surface orientation of the Reynolds-Navier-Stokes equation for mass transfer on the separation line of the medium from different coefficients of properties.

2. The limitation of power and torque on propeller shaft lines is ensured by the redistribution of the emphasis between the motors or the reduction of the maximum load.

3. The three-level multicriterion strategy of energy distribution management in the hybrid marine power plant of the combined propulsion complex was developed by integrating the classical power management strategy with the strategy of management and monitoring of the state of the medium-speed diesel generator and the degree of charge of the alternative generator element of the energy accumulation system.

4. In the mathematical modeling section, using “Matlab” software, calculation of voltage and frequency droop during parallel operation of three generators in the maneuvering mode and 800kW thrusters drive induction motor start has been done;

– We have also described the items of complex automation of ship electric power station and the whole ship in the graduation thesis.

ВСТУП

Розробка прибережного шельфу (добуток природних копалин, будівництво вітряних та приливних електростанцій, пелагічне рибальство тощо) передбачає розвиток високотехнологічних наукомістких галузей морської індустрії, які передбачають будівництво та експлуатацію суден для забезпечення розвідувально-бурових, підйомно-транспортних та вантажно-розвантажувальних робіт в різних експлуатаційних умовах (так званий офшорний флот). Подібні судна обладнаються інноваційними комбінованими пропульсивними комплексами (КПК) із судновими енергетичними установками (СЕУ), які будуються за принципом єдиних електроенергетичних систем.

Проблеми підвищення енергоефективності, викликані дефіцитом енергоресурсів і прагненням до поліпшення екологічних показників СЕУ КПК, лежать в основі вимог, встановлених Міжнародною морською організацією (International Maritime Organization) в Додатку VI до Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден (МАРПОЛ) щодо конструктивного коефіцієнту енергоефективності (ККЕЕ) (англ. Energy Efficiency Design Index – EEDI) та експлуатаційного коефіцієнту енергоефективності (ЕКЕЕ) (англ. Energy Efficiency Operational Index – EEOI) у рамках розробки і виконання плану управління енергоефективністю судна (ПУЕЕС) (англ. Ship Energy Efficiency Management Plan – SEEMP) в процесі підвищення ефективності функціонування та експлуатації.

Таким чином, можна сформулювати актуальну науково-технічну проблему у галузі розвитку транспорту, транспортних технологій і відповідної інфраструктури: дослідження, розробка і прогнозування методів удосконалення експлуатаційних характеристик СЕУ КПК, які б забезпечували підвищення ефективності їх функціонування неможливо без встановлення закономірностей змінювання параметрів та впровадження методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану СЕУ КПК в процесі експлуатації.

Робота спрямована на реалізацію Транспортної стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України №2174-р від 20 жовтня 2010

року) та проводилася у рамках держбюджетних науково-дослідницьких робіт (НДР) Національного університету «Одеська морської академія».

Метою роботи є розвиток теорії, методології та технології у галузі підвищення ефективності функціонування суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів.

Об'єктом дослідження є процеси передачі потужностей в СЕУ КПК у рамках створення систем підтримки прийняття рішень (СППР), призначених для їх проектування, дослідження і експлуатації.

Предметом дослідження є сукупність теоретико-методологічних, проектних і прикладних положень створення систем підтримки прийняття рішень, призначених для підвищення ефективності функціонування СЕУ КПК.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	11
1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС СУДНА, ЙОГО ГОЛОВНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ І ДОПОМІЖНИХ СИСТЕМ.....	16
1.1 Основні характеристики судна.....	16
1.2 Характеристика пропульсивного комплексу	18
1.3 Електронне обладнання:	18
1.4 Суднові системи	19
1.5 Палубне устаткування.....	20
1.6 Головні двигуни.....	20
2 АНАЛІЗ КОМБІНОВАНИХ ПРОПУЛЬСИВНИХ КОМПЛЕКСІВ З ПІДРУЛЮЮЧИМИ ПРИСТРОЯМИ РІЗНОМАНІТНОЇ КОМПЛЕКТАЦІЇ	21
2.1 Особливості роботи електроприводів підрулюючих пристроїв	21
2.1 Експлуатаційні режими електродвигуна підрулюючого пристрою	22
2.2 Аналіз роботи принципової електричної схеми	26
2.3 Технічні характеристики перетворювача частоти.....	34
2.3.1 Особливості програмування перетворювача частоти ACS600.....	34
2.4 Ідентифікація параметрів системи управління	37
2.4.1 Ідентифікація параметрів контролера системи управління.....	38
2.4.2 Центральний процесор	39
2.4.3 Цифровий модуль вводу/виводу	40
2.4.4 Аналоговий модуль вводу	40
2.4.5 Аналоговий модуль виводу	41
2.4.6 Блок живлення.....	42
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТКОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ.....	44
3.1 Зв'язок досліджень із сучасними напрямками	44
3.2 Забезпечення динамічних показників якості процесів передачі енергії в умовах різновекторних навантажень.....	47
3.3 Визначення критеріїв застосування стратегій управління енергоспоживанням.....	49
3.4 Методика створення математичних моделей електроенергетичних систем з багатозмінними конструкціями	53
3.5 Удосконалення системи контролю та управління енергетичними процесами	57
3.6 Методологія синтезу багатокритеріальних стратегій управління розподілом потужності	61

3.7	Математичне моделювання суднового пропульсивного комплексу	65
3.7.1	Визначення параметрів схеми заміщення АД	71
3.7.2	Проведення моделювання та аналіз результатів	73
3.8	Комп'ютерне моделювання конфігурацій ПП з урахуванням типізації технологічного процесу	77
	ВИСНОВКИ.....	84
	Список літератури	86
	Додаток А.....	91
	А.1 Технічні характеристики електричних двигунів.....	91
	А.2 Технічні характеристики СГ	92
	Додаток В.....	93
	В.1 Специфікація елементів системи управління	93
	В.2 Специфікація силової частини і системи управління	94
	В.3 Схема підключення входів/виходів до системи управління	95

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення, терміни, позначення	Пояснення
<u>AHTS</u>	<u>Anchor-handling Tug/Supply</u>
	<u>Anchor Handling Vessel</u>
<u>AVR</u>	<u>Automatic Voltage Regulator</u>
<u>Azipod®</u>	Electric podded <u>azimuth thruster</u> produced by <u>ABB Group</u>
<u>CLV</u>	<u>Cable laying vessel</u>
<u>Contaz®</u>	<u>Rolls-Royce plc azimuth thruster with contra-rotating propellers</u>
<u>CPICS</u>	<u>Classical PI control strategy with SOC's regulation</u>
<u>CPP</u>	A controllable-pitch propeller or variable-pitch propeller is a type of <u>propeller</u>
<u>CPP</u>	<u>Controllable Pitch Propeller</u>
<u>CRP</u>	<u>Contra-rotating propeller</u>
<u>CRP Azipod®</u>	<u>Propulsion Concept</u>
<u>CSD</u>	<u>Cutter Suction Dredger</u>
<u>DC-link</u>	<u>Direct current link</u>
<u>DEPV</u>	<u>Diesel-electric Passenger Vessel</u>
<u>DMS</u>	<u>Data Management System</u>
<u>DP</u>	<u>Dynamic Positioning</u>
<u>DTC</u>	<u>Direct Torque Control</u>
<u>ECMS</u>	<u>Equivalent consumption minimization strategy</u>
<u>EDLC</u>	<u>Electric double-layer capacitor</u>
<u>EEMS</u>	<u>External energy maximization strategy with SOC's regulation</u>
<u>EMDEC</u>	<u>Electro-Motive Diesel Engine Control system</u>
<u>EMS</u>	<u>Energy Management System</u>
<u>FACTS</u>	<u>Flexible Alternative Current Transmission Systems</u>
<u>Fanbeam®</u>	<u>DP reference system</u>
<u>FDSMCS</u>	<u>Frequency decoupling and state machine control strategy with SOC's regulation</u>
<u>FMEA</u>	<u>Failure modes and effects analysis</u>
<u>FPP</u>	A fixed-pitch propeller is a type of <u>propeller</u>

Скорочення, терміни, позначення	Пояснення
<u>FRV</u>	<u>Fisheries research vessel</u>
<u>GNSS</u>	<u>Global Navigation Satellite System</u>
<u>HART</u>	<u>Highway Addressable Remote Transducer Protocol</u>
<u>ICE–HICE</u>	<u>Mermaid podded propulsors ICE and HICE produced by Rolls–Royce plc</u>
<u>IMO</u>	<u>International Maritime Organization</u>
<u>K–POS</u>	<u>Single Dynamic Positioning system</u>
<u>LCI</u>	<u>Load Commutated Inverter</u>
<u>L–Drive</u>	<u>An L–drive is a type of azimuth thruster in which the pod–mounted propellers</u>
<u>LFC</u>	<u>Live Fish Carrier</u>
<u>LNG</u>	<u>Liquefied natural gas</u>
<u>LNGCF</u>	<u>LNG Car Ferry</u>
<u>Mermaid™</u>	<u>Electric podded azimuth thruster produced by Rolls–Royce plc</u>
<u>MGTV</u>	<u>Multipurpose Geotechnical & Soil Investigation Vessel</u>
<u>MOV</u>	<u>Multipurpose Offshore Vessel</u>
<u>MRSV</u>	<u>Multipurpose field & ROV Support Vessel</u>
<u>OCV</u>	<u>Offshore Construction Vessel</u>
<u>ORV</u>	<u>Oceanographic Research Vessel</u>
<u>OSCV</u>	<u>Offshore Subsea Construction Vessel</u>
<u>PCT</u>	<u>Product/Chemical Tankers</u>
<u>PLC</u>	<u>Programmable Logic Controller</u>
<u>PMR</u>	<u>Power Management Relay</u>
<u>PMS</u>	<u>Power Management System</u>
<u>PST</u>	<u>Purse Seiner/Pelagic Trawler</u>
<u>PT</u>	<u>Power Transducers</u>
<u>PUSH</u>	<u>Mermaid Push podded propulsors produced by Rolls–Royce plc</u>
<u>PVGS</u>	<u>Photovoltaic (PV) generation system</u>
<u>RANS</u>	<u>Reynolds–averaged Navier–Stokes</u>
<u>RBU</u>	<u>Resistor back unit</u>
<u>ReFRESCO</u>	<u>Reliable&Fast Rans Equations (solver for) Ships, Cavitation (and) Offshore</u>

Скорочення, терміни, позначення	Пояснення
<u>Rolls–Royce</u>	<i>Rolls–Royce Marine Power Operations Limited, a subsidiary of Rolls–Royce plc</i>
<u>RO-RO</u>	<u>Roll-on/Roll-off ships</u>
<u>ROV</u>	<u>Remotely operated underwater vehicle</u>
<u>RPU</u>	<u>Redundant Power Management Processors Unit</u>
<u>SBV</u>	<u>Stand-by and Guard Vessels</u>
<u>SFC</u>	<u>Specific fuel consumption</u>
<u>Ships CPC</u>	<i>Ships Combined Propulsion Complexes – Система підтримки прийняття рішень, що розроблена у рамках науково–дослідної держбюджетної роботи «Концепції, технології та напрямки удосконалення суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів» Національного університету «Одеська морської академія» (державний реєстраційний номер 0114U/000340).</i>
<u>SLS</u>	<u>Seabed Logging Ship</u>
<u>SMCS</u>	<u>State machine control strategy</u>
<u>SOC</u>	<u>State-of-Charge</u>
<u>SPAR</u>	<u>Single Point mooring And Reservoir</u>
<u>SPU</u>	<u>Signal Processing Unit</u>
<u>SRV</u>	<u>Seismic Research Vessel</u>
<u>SWATH</u>	<u>Small Waterplane Area Twin Hull</u>
<u>Swing–UP</u>	<i>Rolls–Royce plc swing–up/combi <u>thrusters type</u></i>
<u>THD</u>	<u>Total harmonic distortion</u>
<u>TLP</u>	<u>Tension–leg platform</u>
<u>TML</u>	<u>Twin Marine Lifter</u>
<u>TT–PM</u>	<i>The <u>Permanent magnet tunnel thruster</u> produced by Rolls–Royce plc</i>
<u>UL</u>	<i>Rolls–Royce plc retractable <u>azimuth thruster type</u></i>
<u>UPS</u>	<u>Uninterruptible Power Supply</u>
<u>VFD</u>	<u>Variable Frequency Drive</u>
<u>VSD</u>	<u>Variable Speed Drives</u>
<u>VSI</u>	<u>Voltage source inverter</u>
<u>VSP</u>	<u>Variable Speed Pumping</u>
<u>WSCC</u>	<u>Western System Coordinating Council</u>

Скорочення, терміни, позначення	Пояснення
<u>Z-Drive</u>	<i>Is a type of marine propulsion unit. Specifically, it is an azimuth thruster</i>
<u>АГРК</u>	<u>Азимутально гвинто–рульова колонка</u>
<u>АД</u>	Асинхронний двигун
<u>АДГ</u>	Аварійний дизель-генератор
<u>АДЕ</u>	<u>Альтернативне джерело енергії</u>
<u>АПП</u>	Азимутальний підрулюючий пристрій
<u>АЦП</u>	Аналого–цифровий перетворювач
<u>АЧХ</u>	Амплітудно–частотна характеристика
<u>ВПП</u>	Висувний підрулюючий пристрій
<u>ВРП</u>	Вантажно–розвантажувальний процес
<u>ГЕД</u>	<u>Гребний електродвигун</u>
<u>ГЛОНАСС</u>	<u>Глобальна навігаційна супутникова система</u>
<u>ГПО</u>	Гвинт протилежного обертання
<u>ГРК</u>	Гвинт регульованого кроку
<u>ГРЩ</u>	Головний розподільний щит
<u>ГРЩ ВН</u>	Головний розподільний щит високої напруги
<u>ГРЩ НН</u>	Головний розподільний щит низької напруги
<u>ГСА</u>	Головний силовий агрегат
<u>ГФК</u>	Гвинт фіксованого кроку
<u>ДАУ</u>	Дистанційне автоматичне управління
<u>ДЕПК</u>	Дизель–електричний пропульсивний комплекс
<u>ІН</u>	Інвертор напруги
<u>ККД</u>	Коефіцієнт корисної дії
<u>КПК</u>	<u>Комбінований пропульсивний комплекс</u>
<u>КПП</u>	Кормовий підрулюючий пристрій
<u>ЛІАБ</u>	<u>Літій-іонна акумуляторна батарея</u>
<u>МВ</u>	Машинне відділення
<u>НЗБУ</u>	<u>Напівзанурювальна бурова установка</u>
<u>НПП</u>	Носовий підрулюючий пристрій
<u>ПВП</u>	Питома витрата палива
<u>ПІД</u>	Пропорційно–інтегрально–диференціальний

Скорочення, терміни, позначення	Пояснення
<u>ПК</u>	Персональний комп'ютер
<u>ПП</u>	Підрулюючий пристрій
<u>ППН</u>	Перетворювач постійної напруги
<u>ПТМ</u>	Підйомно–транспортний механізм
<u>ПЧ</u>	Перетворювач частоти
<u>РЩ</u>	Розподільний щит
<u>САК</u>	Система автоматичного керування
<u>САР</u>	Система автоматичного регулювання
<u>САРН</u>	Система автоматичного регулювання напруги
<u>СГЕ</u>	Сонячний генеруючий елемент
<u>СД</u>	Синхронний двигун
<u>СЕЕС</u>	Суднова електроенергетична система
<u>СЕУ</u>	Суднова енергетична установка
<u>СІФК</u>	Система імпульсно–фазового керування
<u>СК</u>	Система керування
<u>СКРЕЕ</u>	Система керування розподіленням електроенергії
<u>СНЕ</u>	<u>Система накопичення енергії</u>
<u>СОГГ</u>	Середньо-обертовий газо-генератор
<u>СОДГ</u>	<u>Середньо–обертовий дизель–генератор</u>
<u>СП</u>	Споживач
<u>СПБУ</u>	<u>Самопідйомна бурова установка</u>
<u>СПГ</u>	Скраплений природний газ
<u>СППР</u>	Система підтримки прийняття рішень
<u>ШІМ</u>	Широтно–імпульсна модуляція

1 ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС СУДНА, ЙОГО ГОЛОВНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ І ДОПОМІЖНИХ СИСТЕМ

Зовнішній вигляд судна показаний на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Зовнішній вигляд судна

Судно є багатофункціональним та призначене для виконання різноманітних робіт у офшорній зоні. Основні креслення судна наведено на рисунку 1.2

1.1 Основні характеристики судна

— довжина максимальна, м	76.4
— довжина між перпендикулярами, м	69.8
— ширина по мідельшпангоуту, м	16.2
— висота борту до головної палуби, м	5.45
— водотоннажність, GRT	3657
— швидкість, вузл	13
— клас Регістру: DNV +1A1, General cargo carrier, EO, HELDK–S, DYNPOS–AUTR	

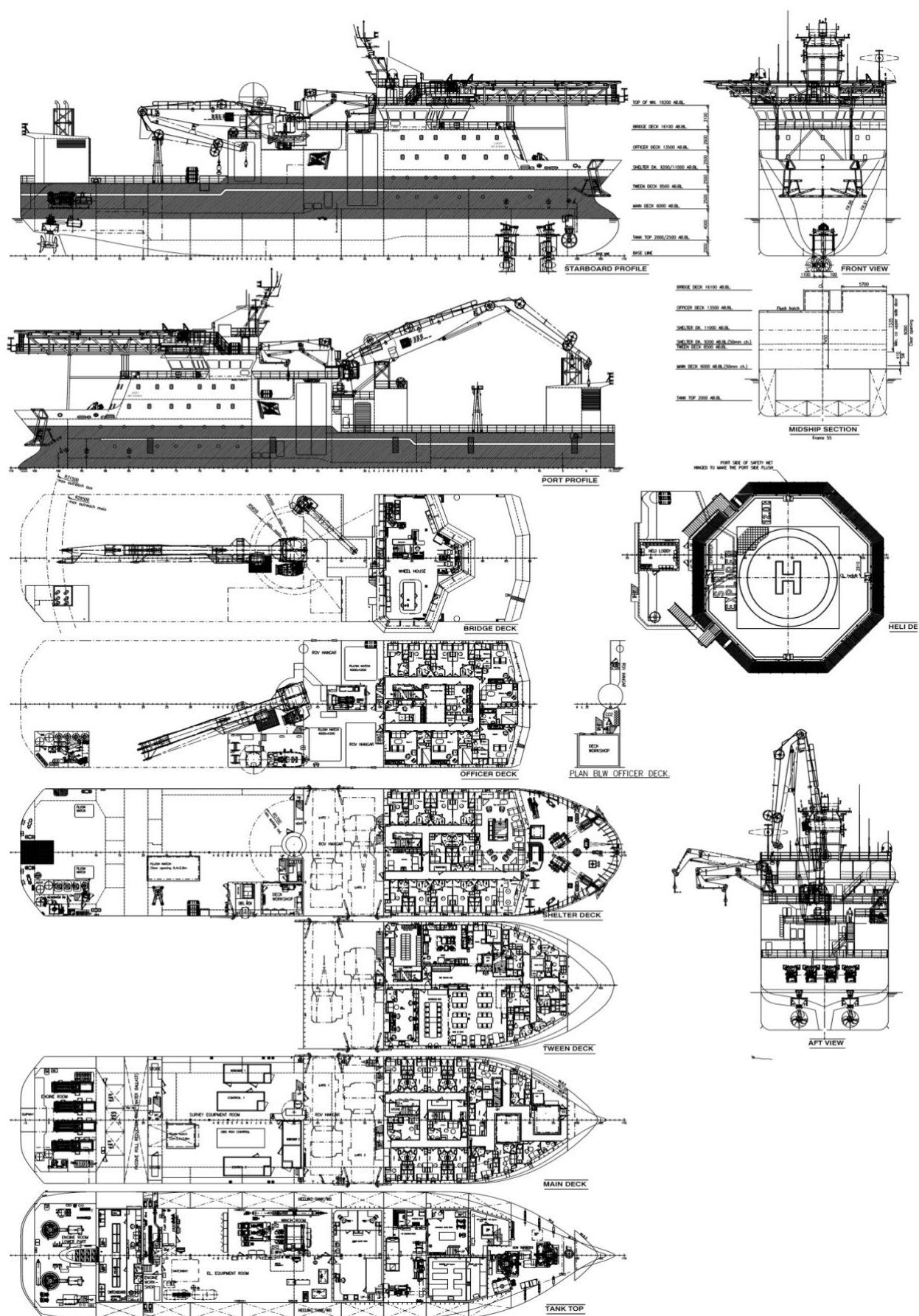


Рисунок 1.2 - Характеристика та розташування основних елементів судна

Судно є дизель–електроходом.

1.2 Характеристика пропульсивного комплексу

- головний двигун (ГД): 4xCaterpillar 3516B 1600 kW
- гвинти: 2 BPIII Schottel STP 1010 1200 kW/347 RPM
- валогенератор: Rolls Royce (SES) Marelli
- головні дизель–генератори (ДГ): 4x1600 kW; 4 x Marelli MJR 450 LB4
- електричні двигуни: 5 x Marelli B5J 500 LA6
- тунельний підрулюючий пристрій (ПП): 1 x Brunvoll
- азимутальний ПП: 2 x Schottel SRP 550
- аварійний ДГ: Caterpillar C9

Азимутальні гвинти:

- Schottel SRP 550 800 kW / 325 RPM
- Brunvoll FU–63–LTC 800 kW /1750 RPM

1.3 Електронне обладнання:

- радар 10 см: JMA–5332–12 SA S–Band
- радар 3 см: JMA–5312–6XA X–Band
- пристрій для читання електронних карт (Electronic Chart Display and Information System, ECDIS): 2 x JRC–JAN–2000 ECDIS
- автопілот: Simrad AP–50
- гірокомпас: 3 x SGB Meridian Standard SR01–02
- лаг: JRC JLN–205 Colour Echosounder
- система визначення місцезнаходження судна (Dyn Pos System, DPS): Kongsberg K–Pos 2
- електрорадіорадар: Radar Transponder Jotron, Tron SART
- ехолот: Furuno FE 700
- стаціонарний телефон: Sat Phone/fax Telenor V–Sat 4996
- система оповіщувальна: Zenitel type ACM
- АИС: JRC JHS–182

– GPS:	2 x MX–500
– відео записуючий пристрій:	JRC JCY–1800 VDR
– система прийому сигналів:	VSS Sound signal reception system
– високочастотний пристрій:	JRC JHS–770S Simplex VHF JRC JHS–780D Duplex VHF Motorola GM360
– радіозв'язок:	2 x McMurdo Sart S4 GMDSS
– MF/HF радіо:	FS–1570
– FM радіо VHF/DSC:	FM–8800S
Inmarsatt C	
– пристрій стеження за погодою:	JRC JSX–9B/JRC NCR–333
– Navtex отримувач:	NX700B

1.4 Суднові системи

– сепаратори палива та масла:	2 x Alfa Laval
– сеператор льяльної води:	Ocean Clean EB 2,5
– система вентиляції:	Aeron AS
– система водяного гасіння пожежі:	Marioff
– система очищування води:	Vassnes e–SEAMatic
– рятувальний бот:	Noreq RRB 525
– рятувальні плоти:	6 x Viking 35 persons
– прожектор:	Tranberg 2000 W
– пожежна сигналізація:	Tyco
– головний розподільний щит (ГРЩ):	690 V, 440 V Rolls–Royce (SES)
– пульт дистанційного управління (Remotely Operated Vehicles, ROV–Switch):	440 V
– паливний танк, м ³	620
– танк питної води, м ³	124
– баластний танк, м ³	1400

– місткість кают, чол.	70
– загальна площа палуб, м ²	460
– вантажна підйомність, тонн	3450

1.5 Палубне устаткування

– палубний кран:	TTS 1 x GPCKO 2000–60–32 TTS 1 x GPK 260–10–12
– брашпіль:	Rapp Hydema

1.6 Головні двигуни

2 АНАЛІЗ КОМБІНОВАНИХ ПРОПУЛЬСИВНИХ КОМПЛЕКСІВ З ПІДРУЛЮЮЧИМИ ПРИСТРОЯМИ РІЗНОМАНІТНОЇ КОМПЛЕКТАЦІЇ

2.1 Особливості роботи електроприводів підрулюючих пристроїв

Підрулюючий пристрій (ПП) відносяться до активних засобів управління судном, тобто створює керуючий вплив на судно, навіть якщо воно не рухається.

Він є одним з найбільш поширених допоміжних засобів управління судном і є автономною системою, яка не залежить від головних двигунів. Підрулюючі пристрої поділяються на пристрої тунельного типу і висувні гвинтові колонки різних типів. Пристрій тунельного типу розміщується в корпусі судна і утворює поперечну силу (тягу ПП) шляхом засмоктування забортної води і викиду її в поперечному, по відношенню до діаметральної площині (ДП) судна, напрямку.

Підрулюючий пристрій призначений для управління судном в умовах, в яких ефективність інших засобів управління недостатня. Він повинен забезпечити маневрування судна коли воно не на ходу, при швартових операціях, при відході від стіни, при розвороті в умовах дії вітру і течії. Також воно має сприяти маневрування судна на малому ходу при самостійному русі в акваторії порту, при різних обмеженнях фарватеру, у вузьких місцях; залежати по можливості меншою мірою від глибини занурення, крену і диференту судна, не знижувати свою ефективність при несприятливих погодних умовах, допускати експлуатацію на мілководді, мати захист від пошкоджень плаваючими предметами.

За місцем розміщення розрізняють носові (НПП) і кормові (КПП) підрулюючі пристрої. Кормові підрулюючі пристрої встановлюють на додатково до носового для забезпечення руху судна лагом або інших спеціальних маневрів. Для збільшення обертового моменту носові і кормові підрулюючі пристрої встановлюють якомога далі від міделю.

За формою тунелю ПП бувають: з прямим тунелем, з S-, T-, П- і К-подібним тунелем; за типом рушія – з гвинтом регульованого кроку, з гвинтом фіксованого кроку, з співіосними гвинтами, з осьовим лопатевим насосом, з відцентровим

насосом, з крильчатим рушієм. Найбільш популярним і тому частіше використовуються є ПП тунельного типу з прямим тунелем (рисунок 2.1).

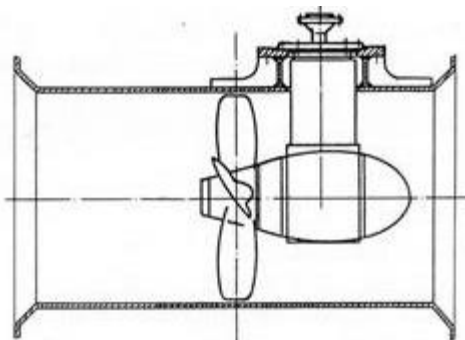


Рисунок 2.1 - Підрулюючий пристрій тунельного типу з прямим тунелем

Вибір основних параметрів ПП і місця його розміщення на судні визначається вимогами, які визначаються формою корпусу судна і його загальним розміщенням, умовами баластування, енергетичними можливостями.

2.1 Експлуатаційні режими електродвигуна підрулюючого пристрою

Загальною конструктивною ознакою всіх типів тунельних ПП є наявність поперечного каналу в корпусі судна і вбудованого в нього імпеллера або насоса. Ефективність ПП залежить від відносної довжини каналу l_k/D :

$$1.0 \leq l_k/D \leq 2, \quad (2.1)$$

де l_k – довжина каналу, м

D – діаметр ПП, м.

Для отримання найбільшої величини моменту ПП бажано розміщувати якомога далі від міделю судна, тобто безпосередньо за форпіковою переборкою.

Основним режимом роботи ПП є управління судном, що не має ходу. При цьому під дією ПП судно може залишатися нерухомим (наприклад, зміст на місці за вітряної погоди), або рухатися в поперечному напрямку з дуже малою швидкістю (наприклад, при швартових операціях). Управління судном за

допомогою ПП на ходу при швидкості, більше ніж 2–3 вузла, мало ефективно і використовується епізодично. Крім того, рух судна не відображається на роботі гвинту ПП. У зв'язку з цим всі розрахунки дії ПП проводять для швартового режиму роботи.

Загальні вимоги до величини тяги ПП засновані на розрахунках маневрування суден і даних їх натурних випробувань і зазвичай пов'язані з величинами площі проекції надводної частини судна A_y на діаметральну площину (ДП) і площі проекції зануреної частини судна A_L на ДП.

Для визначення величини тяги ПП потрібно визначити площу проекції надводної частини. Її визначимо виходячи з розмірів судна. Прийmemo судно за прямокутник довжиною 76,4 метрів і висотою 5,45 метра.

Тоді площа проекції надводної частини:

$$A_y = L \cdot h = 350 \cdot 18,35 = 6425 \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Величина тяги ПП T_E (в ньютонах) в залежності від площини проекції надводної частини ($A_y = 6425 \text{ м}^2$) судна і має вид:

$$T_E = 40 \cdot A_y = 40 \cdot 6425 = 257000 \text{ Н} = 257 \text{ кН} \quad (2.3)$$

Зв'язок між тягою ПП T_E (в ньютонах) и потужністю на валу гвинта ПП P_D (в кВт) має вид:

$$P_D = 44 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{T_E^3}{D}}, \quad (2.4)$$

де D – діаметр ПП, м.

При $D = 1,5$ м, отримаємо потужність P_D :

$$P_D = 44 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\frac{257000^3}{3,4}} = 1264 \text{ кВт}, \quad (2.5)$$

Частота обертання двигуна n , с^{-1} :

$$n = 0.542 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_D}{D^5 \cdot k_Q}}, \quad (2.6)$$

де k_Q – коефіцієнт, що отримується по діаграмі випробувань гребних гвинтів (рисунок 2.2).

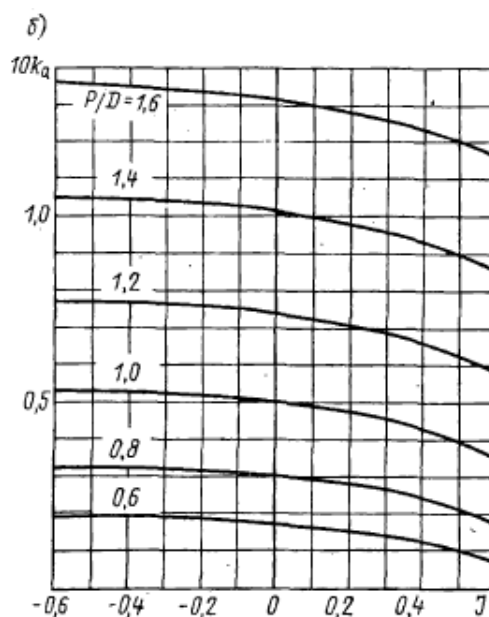


Рисунок 2.2 - Діаграма випробувань гребних гвинтів

Відносний хід гребного гвинта

$$J = -J_s \cdot \sqrt{\zeta_k}, \quad (2.7)$$

де J_s – відносний хід гребного гвинта за швидкістю протікання води,

ζ_k – безрозмірний коефіцієнт опору тракту.

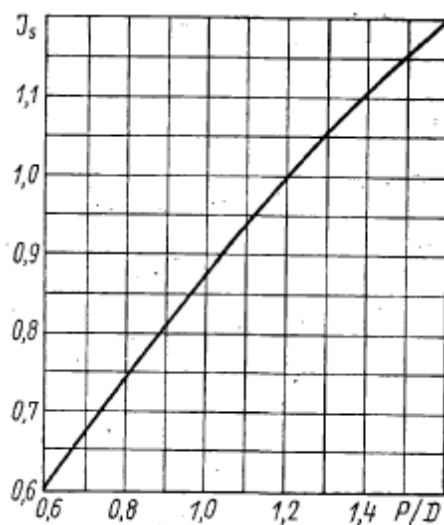


Рисунок 2.3 - Залежність відносного ходу від крокової відносини

Для ПП з циліндричним каналом коефіцієнт стиснення струменя $k_c = 1.0$; $\zeta_k \approx 0.2$. Крокові ставлення гребного гвинта приймається оптимальним ($P/D = 1.0$).

За допомогою залежності відносного ходу гребного гвинта за швидкістю протікання води J_s к шаговому відношенню гребного гвинта P/D (рисунок 2.3) знаходимо, що $J_s = 0.875$, тоді:

$$J = -0.875 \cdot \sqrt{0.2} = -0.39 \quad (2.8)$$

За діаграмою випробувань гребних гвинтів знаходимо k_Q в залежності від відносного ходу гребного гвинта J і крокового відношення гребного гвинта P/D . При $J = -0.39$ и $P/D = 1.0$, $k_Q = 0.525$, тоді швидкість обертання гребного винту

$$n = 0.542 \cdot \sqrt[3]{\frac{3700,3}{(2,4)^5 \cdot 0.525}} = 5,09 \text{ с}^{-1} = 286 \text{ об/мин.} \quad (2.9)$$

Потужність двигуна дорівнює

$$P_{\text{дв}} = k_3 \cdot \frac{P_D}{\eta_{\text{мех}} \cdot \eta_p} = 1.05 \cdot \frac{1264}{0.8 \cdot 0.98} = 1296 \text{ кВт}, \quad (2.10)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу,

$\eta_{\text{мех}} = 0,8$ – ККД механізму,

$\eta_p = 0,98$ – ККД редуктора.

Вибираємо двигун за умовами:

$$P_{\text{дв}} \geq P_{\text{дв}}, n_{\text{дв}} \geq n \cdot N, \quad (2.11)$$

де $N = 3,5$ коефіцієнт передачі редуктора

Вибираємо двигун фірми *ABB* типу *M3BP355MLA4*

(Код продукту *3GBP352410--G*)

Потужність P_n	=	400 кВт;
Струм I_n	=	705 А;
Напруга U_n	=	690 В;
Частота f_n	=	50 Гц;
Число полюсів p	=	4;

Швидкість: n_n	=	1489 об/хв;
n_{max}	=	2000 об/хв;
Момент M_n	=	2565 Нм;
КПД η	=	96.3%;
Кратність максимального моменту M_{max}/M_n	=	2.6;
$\cos\varphi$	=	0.85

2.2 Аналіз роботи принципової електричної схеми

Для розуміння і полегшеного читання схем перша цифра в позначенні елемента схеми означає номер листа, на якому цей елемент розташований.

Для згладжування перешкод створюваних перетворювачем частоти використовується фільтр 1A1. Запобіжники 1Q1 і 1Q2 захищають перетворювач від струмів к.з.

Силові контакти контактора 2K1 замикають ланцюг живлення перетворювача за умов:

- напруга з виходу контролера «Zero Relais» надходить на котушку реле 5K4, його контакт 11–14 в ланцюзі реле 5K2 замикається;
- напруга з виходу контролера «Impuls ON» надходить на котушку реле 5K3, його контакт 11–14 в ланцюзі реле 5K2 замикається;
- реле 5K2 отримує живлення через замкнутий контакт 7S2 – нульове положення джойстика управління на містку і замкнуті контакти реле 5K3 (сигнал "Impuls ON") 5K4 (сигнал "Zero Relais") і самотримується.
- на містку рукоятка джойстика керування електроприводом знаходиться в нульовому положенні і контактна група 5–6 7S2 вимикача в ланцюзі котушки реле 5K2 замкнута.

Силові контакти 2K1 контактора 2K1 розмикають ланцюг живлення перетворювача при:

- на котушку реле 5K5 надходить напруга з виходу контролера «OFF» або

- на котушку реле $5K5$ надходить напруга через нормально замкнуті контакти реле $5K1$, якщо відключений головний ключ $5S1$.

Реле $5K5$ розмикає свій нормально замкнутий контакт $5K5$ 11–12 і реле котушка $5K2$ втрачає живлення. Контакт $5K2$ 3–4 розмикає ланцюг живлення контактора $2K1$.

Сигнал «розгальмування» надходить з виходу контролера «К» гальма. Через нормально замкнутий контакт теплового реле $2F6$ котушка проміжного реле $2K3$ замикає ланцюг реле $2K2$. Контакти реле $2K2$ 1–2, 3–4, 5–6, замикає ланцюг,

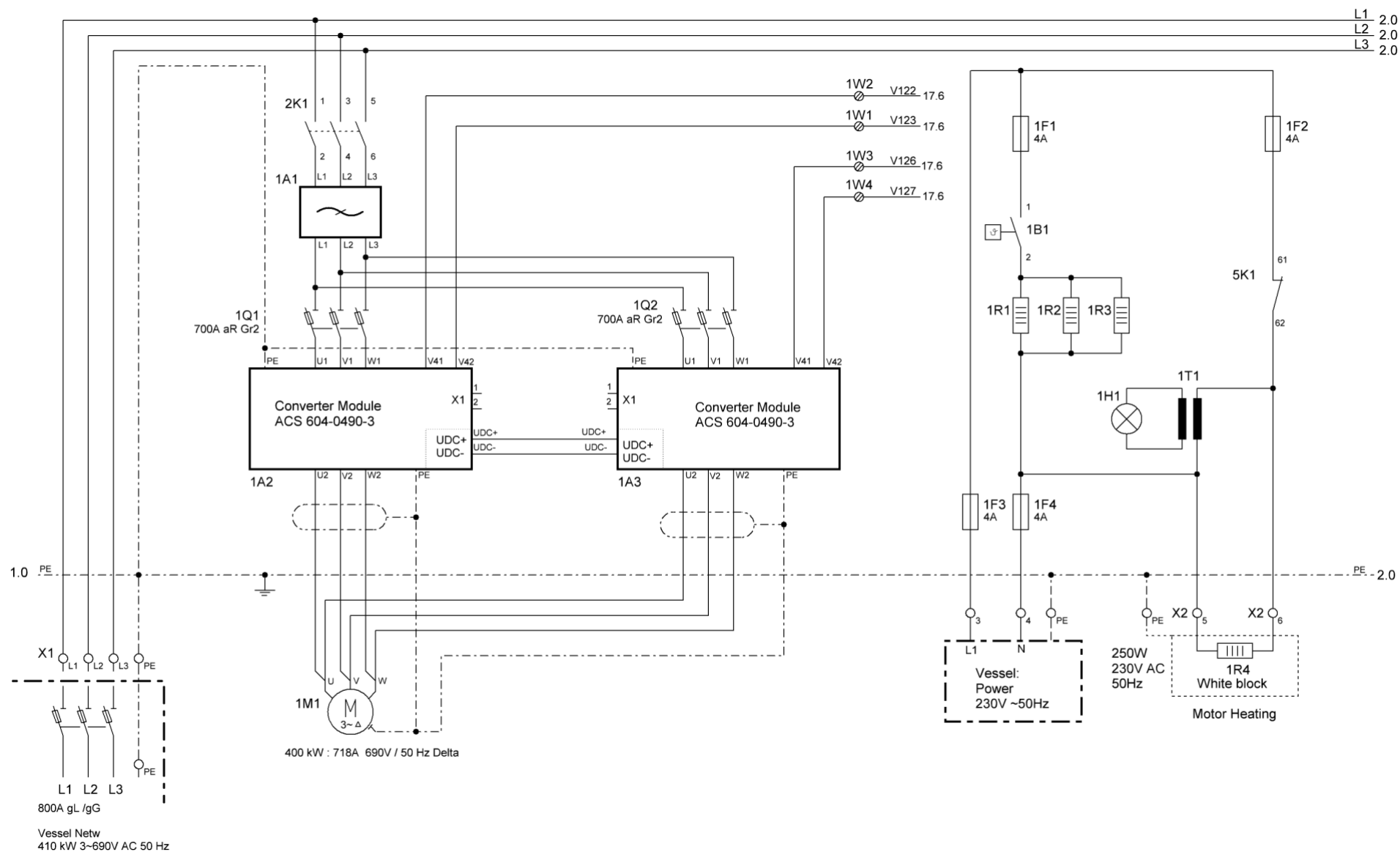


Рисунок 2.4 - Принципова схема силової частини електроприводу підрулюючого пристрою (живлення ПЧ)

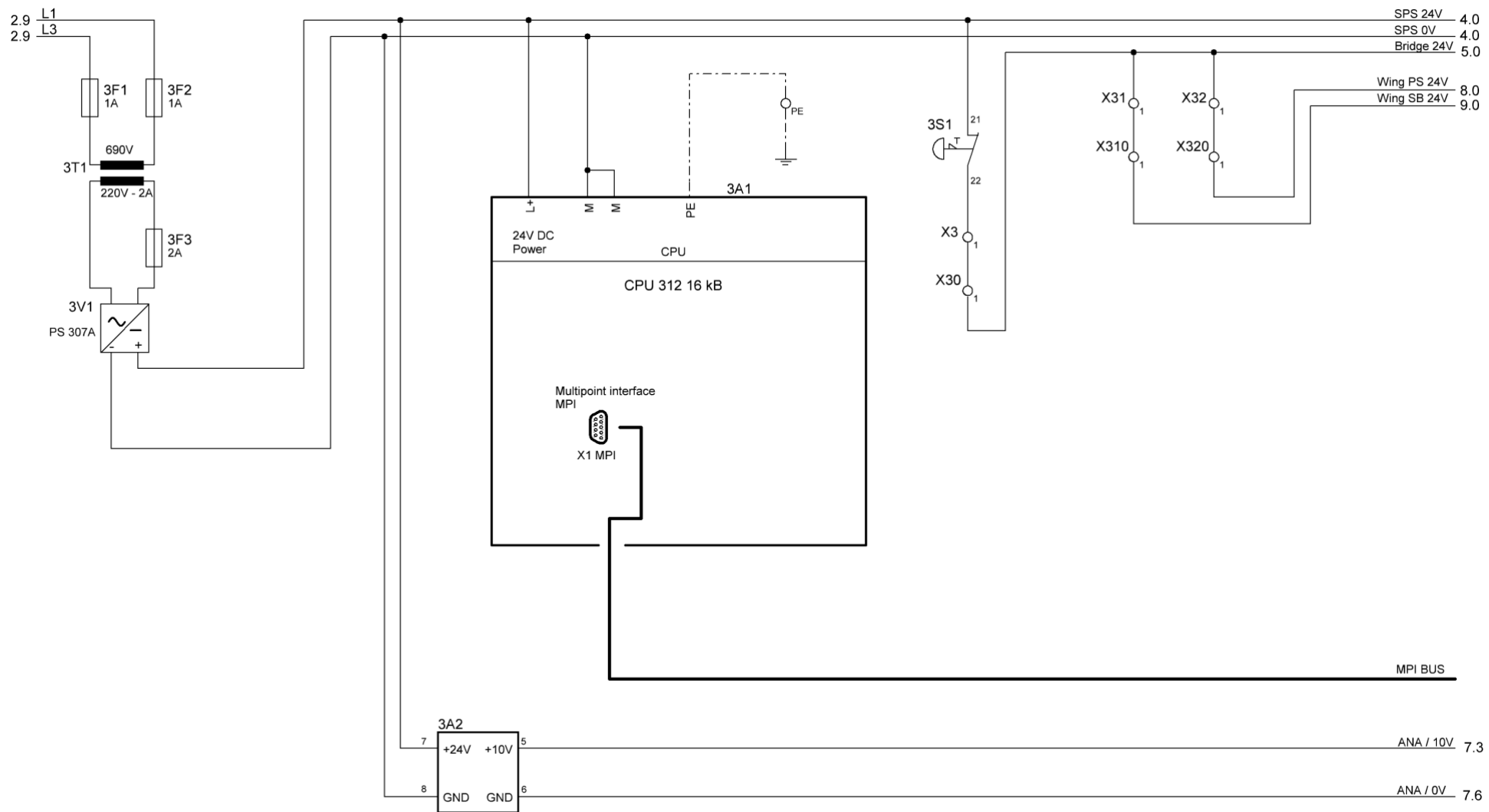


Рисунок 2.6 - Принципова схема підключення системи управління електроприводу підрулюючого пристрою

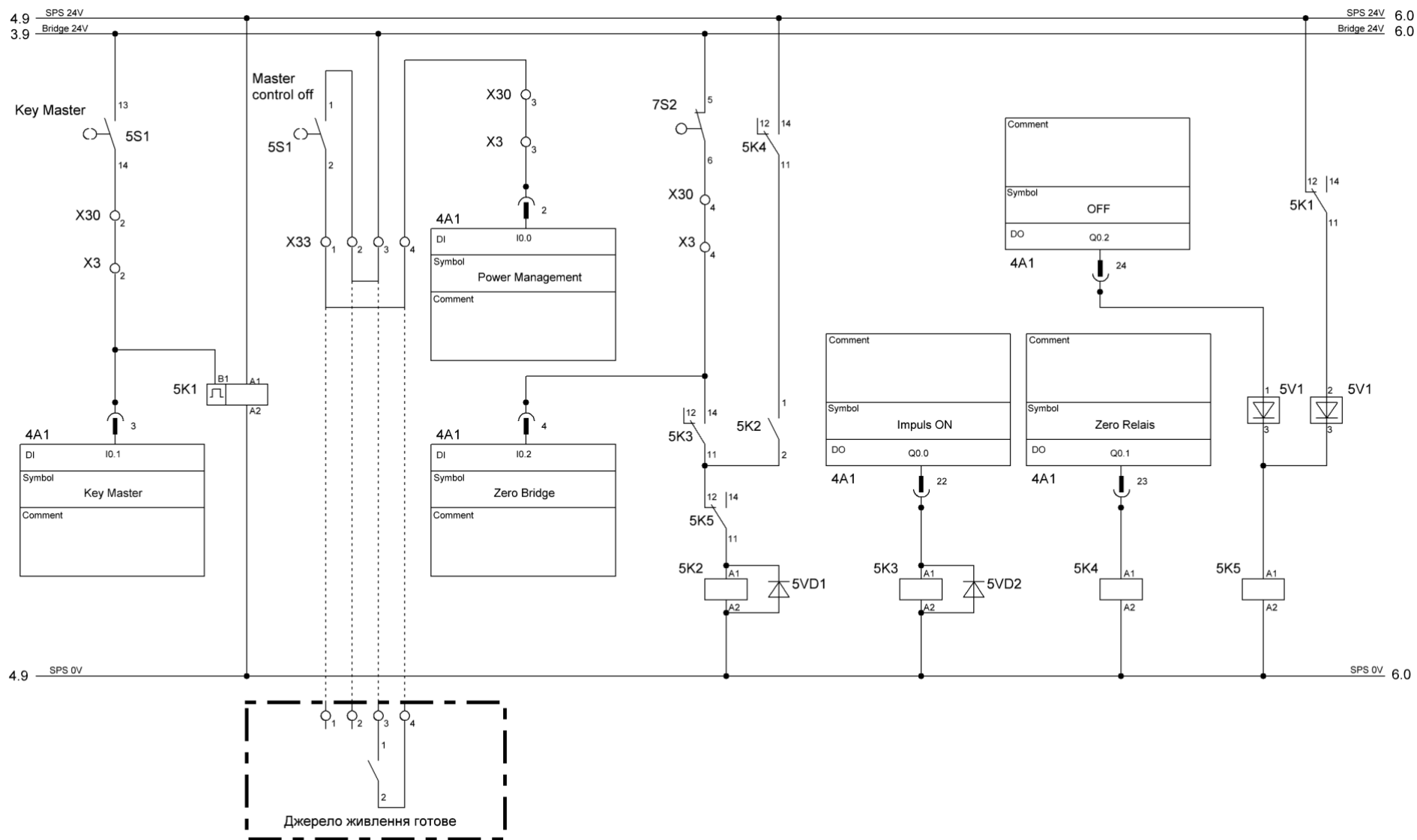


Рисунок 2.7 - Принципова схема підключення системи управління електроприводу підрулюючого пристрою

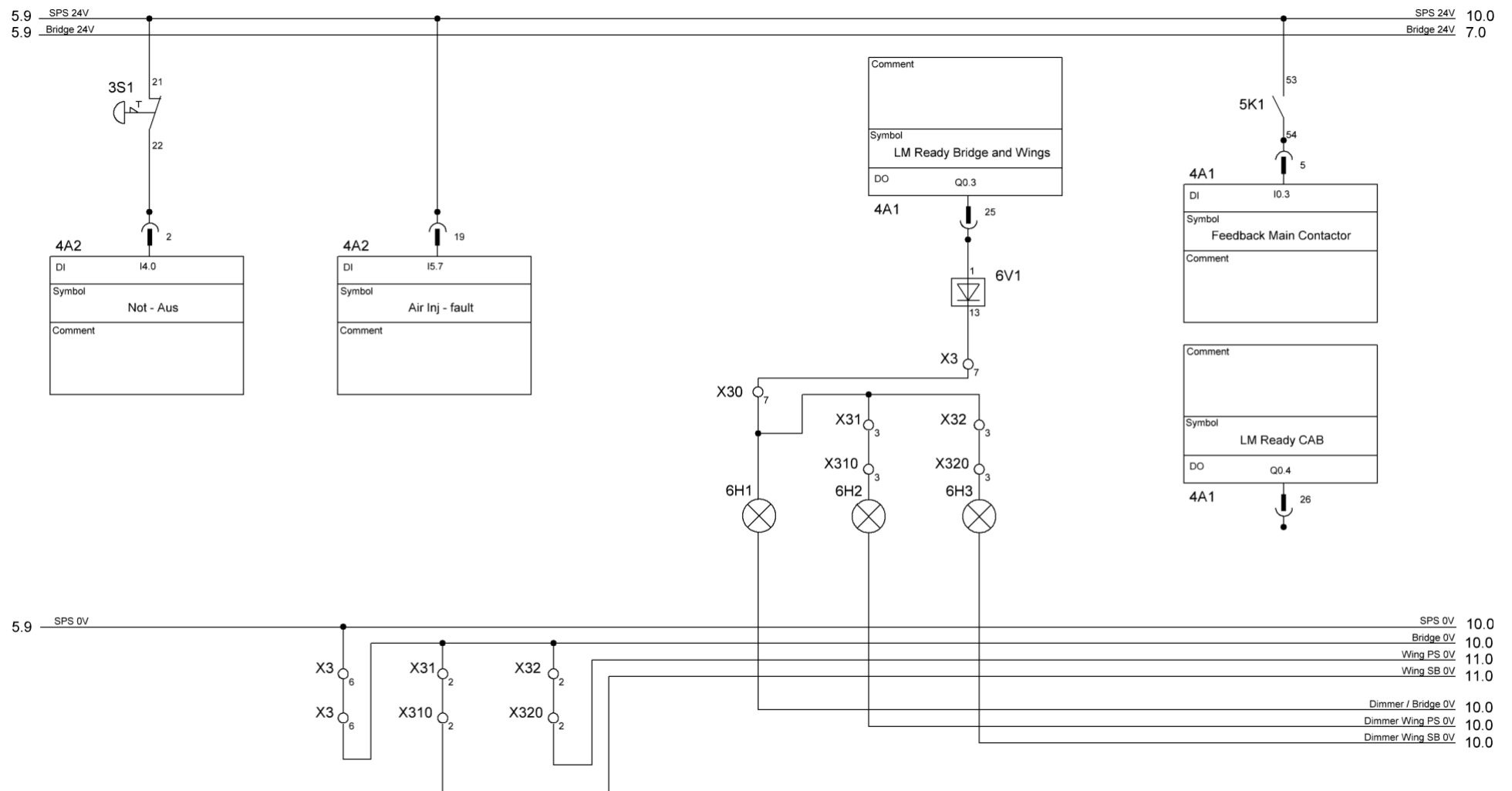


Рисунок 2.8 - Принципова схема підключення сигналізації готовності системи управління електроприводу підрулюючого пристрою

що складається із випрямляча $2V1$ котушки $2Y1$ електромагнітного гальма, яке призводить «розгальмування» двигуна.

Теплове реле $2F6$ захищає трансформатор $2T1$ потужністю 650ВА і напругою 690/230В від несправностей в ланцюзі котушки електромагнітного гальма.

$1R1$ резистори, $1R2$, $1R3$ підключаються до блоку живлення змінного струму напругою 690В, частотою 50 Гц і призначені для прогріву системи керування електроприводом з метою захисту від вогкості і корозії. Резистор $1R4$ живлється від того ж джерела і прогріває двигун в неробочому стані через нормально замкнутий контакт реле $5K1$ 61–62, про що сигналізує індикатор $1H1$. Теплове реле $1B1$ розриває ланцюг живлення резисторів при підвищенні температури всередині шафи вище $+10^{\circ}\text{C}$.

Принципова схема електроприводу підрулюючого пристрою представлена на рисунка 2.4 – 2.9 та на плакатах 1–6 графічної частини проекту.

2.3 Технічні характеристики перетворювача частоти

Перетворювач частоти фірми *ABB* типу *ACS 604–0490–3* задовольняє вимогам потужності, надійності, набору функцій управління двигуном та інше.

Нижче наведені позначення символів, що утворюють код типу перетворювача:

Таблиця 2.1 – Позначення символів кода типу перетворювача

<i>A</i>	Категорія виробу	Привод змінного струму
<i>CS</i>	Тип виробу	Стандартний
<i>6</i>	Серія виробу	<i>ACS 600</i>
<i>0</i>	Вхідний міст	6–імпульсний випрямляч
<i>4</i>	Конструкція	Модульна
<i>0490</i>	Номінальна потужність	$S_N = 490 \text{ кВА}$, $P_N = 400 \text{ Вт}$
<i>3</i>	Номінальна напруга	$\sim 440/690/415 \text{ В}$

2.3.1 Особливості програмування перетворювача частоти *ACS600*

За допомогою програмування можна змінювати налаштування перетворювача *ACS600* відповідно до вимог конкретного застосування. Програмування *ACS600* здійснюється шляхом установки набору параметрів. Параметри можна встановлювати один за іншим, або можна вибрати попередньо запрограмований набір параметрів. Запрограмовані набори параметрів називаються прикладними макросами. Для спрощення процедури програмування параметри *ACS600* об'єднані в групи. Група запуску містить основні параметри, необхідні для узгодження перетворювача *ACS600* з використовуваним електродвигуном, а також дозволяє вибрати мову, який використовується для виведення інформації на дисплей панелі управління. Крім того, в цю групу включений список запрограмованих макросів. Параметри групи запуску програмуються при введенні системи в експлуатацію, і їх зміна в подальшому не потрібно.

Для програмування та управління перетворювачем *ACS600* використовується панель управління. На панелі управління розташований рідкокристалічний дисплей, що містить 4 рядки по 20 символів в кожній і забезпечені етикетками плоскі кнопки. Клавіатура панелі управління може працювати в одному з чотирьох режимів: режимі відображення сигналів, режимі параметрів, режим функцій та вибору приводу. Крім того, передбачений спеціальний режим ідентифікації, який включається після приєднання панелі до лінії зв'язку. Для зміни значень параметрів групи запуску використовується процедура, наведена в таблиці 2.2.

Нижче наведені параметри, які необхідно змінити.

99.01 *LANGUAGE* – Вибираємо потрібну мову відображення панелі управління

99.02 *APPLICATION MACRO* – Вибираємо макрос 1 – Заводський. Всі команди управління і опорне значення можна подавати з клавіатури панелі управління або з зовнішнього пристрою управління. Активне пристрій управління встановлюється за допомогою кнопки *LOC REM* панелі управління. Привід працює в режимі керування швидкістю. При зовнішньому управлінні пристроєм управління є *EXT1*. Опорний сигнал підключається до аналогового входу *AI1*, а сигнали пуску / зупинки і напрямку обертання – до цифрових входів *DI1* і *DI2*.

Напрямок обертання за замовчуванням – вперед (параметр 10.03 *DIRECTION*). Вхід *DI2* визначає напрямок обертання тільки в тому випадку, якщо для параметра 10.03 *DIRECTION* встановлено *REQUEST*. На клемник виведено два аналогових і три релейних виходу. У режимі відображення сигналів на дисплей панелі управління за замовчуванням виводяться значення частоти, струму і потужності електродвигуна.

99.03 *APPLIC RESTORE* Якщо вибрати *YES* (так) відновлюються вихідні значення параметрів прикладного макросу.

Таблиця 2.2 - Вибір параметра і зміна його значення

Шаг	Функция	Кнопка	Дисплей
1.	Для перехода в режим параметров		1 L → 1242.0 rpm 0 10 START/STOP/DIR 01 EXT1 STRT/STP/DIR DI1,2
2.	Для выбора другой группы параметров	 	1 L → 1242.0 rpm 0 11 REFERENCE SELECT 01 KEYPAD REF SEL REF1 (rpm)
3.	Для выбора параметра	 	1 L → 1242.0 rpm 0 11 REFERENCE SELECT 03 EXT REF1 SELECT AI1
4.	Для вызова функции изменения значения параметра	ENTER	1 L → 1242.0 rpm 0 11 REFERENCE SELECT 03 EXT REF1 SELECT [AI1]
5.	Для изменения значения параметра (медленное изменение цифровых и текстовых значений) (быстрое изменение только цифровых значений)	   	1 L → 1242.0 rpm 0 11 REFERENCE SELECT 03 EXT REF1 SELECT [AI2]
6а.	Для сохранения нового значения	ENTER	1 L → 1242.0 rpm 0 11 REFERENCE SELECT 03 EXT REF1 SELECT AI2
6б.	Для отмены операции и сохранения прежнего значения нажмите одну из кнопок режимов. Панель переключится в соответствующий режим.	   	1 L → 1242.0 rpm 0 11 REFERENCE SELECT 03 EXT REF1 SELECT AI1

99.04 *MOTOR CTRL MODE* Цей параметр встановлює режим керування електродвигуном. Вибираємо режим прямого управління крутним моментом (*DTC*). *ACS600* виконує прецизійне управління швидкістю і обертовим моментом стандартного електродвигуна з короткозамкненим ротором без використання зворотного зв'язку з імпульсних датчиків.

99.05 *MOTOR NOM VOLTAGE* Цей параметр служить для узгодження ACS600 з номінальною напругою електродвигуна. Вибираємо 690 В.

99.06 *MOTOR NOM CURRENT* Цей параметр служить для узгодження ACS600 з номінальним струмом електродвигуна. Вибираємо 705 А.

99.07 *MOTOR NOM FREQUENCY* Цей параметр служить для узгодження ACS600 з номінальною частотою електродвигуна. Встановлюємо 50 Hz

99.08 *MOTOR NOM SPEED* Цей параметр служить для узгодження ACS600 з номінальною швидкістю електродвигуна. Встановлюємо 1 489 RPM

99.09 *MOTOR NOM POWER* Цей параметр служить для узгодження ACS600 з номінальною потужністю електродвигуна. Встановлюємо 400 kWt.

99.10 *MOTOR ID RUN* Цей параметр дозволяє запустити ідентифікаційний прогін електродвигуна. Під час цієї операції ACS600 визначає характеристики електродвигуна для забезпечення оптимального управління.

2.4 Ідентифікація параметрів системи управління

Управління носовим підрулюючим пристроєм (НПП) може бути здійснено з пульта управління, розташованого на містку, а так само з пультів управління розташованих на лівому або правому крилах містка. Кожен з пультів управління містить наступні компоненти:

- рукоятка для завдання швидкості обертання гвинта НПП;
- ключ запуску НПП;
- кнопка призначення даного пульта управління активним;
- стрілочний прилад для відображення реальної швидкості і напрямку обертання гвинта НПП;
- індикатор активного пульта;
- індикатор готовності НПП до роботи;
- груповий індикатор виходу параметрів за технологічні границі;
- індикатор аварійного відключення НПП.

Крім того, пульт управління на містку має:

- кнопку тестування справності індикаторних ламп;
- звукову сигналізацію аварійного стану НПП;
- кнопку підтвердження звуковий аварійної сигналізації;
- регулятор яскравості індикаторних ламп.

Запуск НПП проводиться поворотом головного ключа НПП на містку. Запуск виконується тільки при наявності необхідних умов, описаних в розділі «Блокування». Активним після запуску є пульт на містку. Якщо необхідно, активним може бути призначений пульт на одному з крил містка натисканням на кнопку «*Take over*». Швидкість обертання гвинта НПП задається важелем «*Control lever*».

2.4.1 Ідентифікація параметрів контролера системи управління

Система управління побудована на базі контролера *Siemens* серії *SIMATIC S7–300*. Це модульний програмований контролер універсального призначення.

Модульна конструкція, що працює з природним охолодженням, можливість застосування структур розподіленого вводу–виводу, зручність обслуговування забезпечують економічність застосування *SIMATIC S7–300* при вирішенні широкого кола завдань автоматизації. Для модернізації і розвитку системи управління контролер може бути легко доповнений необхідним набором модулів. *SIMATIC S7–300* відповідає вимогам цілого ряду міжнародних і національних стандартів:

- *DIN*.
- Сертифікат *UL*.
- Сертифікат *CSA*.
- *FM*, клас 1, розділ 2, групи *A*, *B*, *C* и *D* (Температурна група T4, до 135°C).
- Морські сертифікати:
- Російського Морського реєстра судноплавства
- *American Bureau of Shipping*
- *Bureau Veritas*

- *Des Norske Veritas*
- *Germanischer Lloyd*
- *Lloyds Register of Shipping*
- *Aseismic capacity*

Для управління НПП необхідно 29 каналів дискретного вводу, 24 канали дискретного виводу, 4 канали аналогового виведення и 3 канали аналогового введення. У поточному розділі далі описані склад модулів зв'язку з периферією, модуль центрального процесора и обґрунтований вибір блоку живлення, що підтверджує відповідність програмованих контролерів *SIMATIC* і їх компонентів вимогам стандартів.

2.4.2 Центральний процесор

Тип: *CPU 312*

Номер для замовлення: *6ES7 312-1AD10-0AB0*

Характеристики:

- Процесор з часом виконання логічної інструкції 200 нс.
- Робоча пам'ять *RAM* ємністю 16 кбайт (приблизно до 5 кбайт інструкцій).
- Мікро карта пам'яті ємністю до 4 Мбайт, що виконує функції завантажувальної пам'яті. Опціонально MMC може використовуватися для накопичення даних і збереження архіву проекту *STEP 7*, включаючи символічні змінні і коментарі до програми.
- Гнучке розширення системи локального введення–виведення підключення до 8 модулів *S7-300* (1–рядна конфігурація).
- Вбудований *MPI* інтерфейс: дозволяє встановлювати одночасно до 6 з'єднань з програмованими контролерами *S7-300/S7-400/C7/WinAC* або з програматором, комп'ютерами, панелями оператора. Одне з'єднання зарезервовано для зв'язку з програматором або панеллю оператора. *MPI* може бути використаний для побудови найпростішої мережі з підключенням до 16 центральних процесорів і підтримкою механізму передачі глобальних даних.

- Парольний захист: забезпечує захист програми і даних від несанкціонованого доступу.
- Діагностичний буфер: використовується для зберігання 100 останніх повідомлень про відмови і переривання. Вміст буфера використовується для аналізу причин, що викликали зупинку центрального процесора.
- Необслуговуємий захист даних: при перебоях в харчуванні контролера все ретанентні дані автоматично записуються центральним процесором в мікро карту пам'яті.
- Вбудовані комунікаційні функції:
 - *PG/OP* функції зв'язку;
 - Стандартні *S7* функції зв'язку через *MPI*;
 - *S7* функції зв'язку через *MPI/PROFIBUS/Industrial Ethernet* (тільки сервер).

2.4.3 Цифровий модуль вводу/виводу

Тип: 323; *DI 16 / DO16 x 24 VDC / 0.5 A*

Номер для замовлення: *6ES7 323-1BL00-0AA0*

Характеристики:

- 16 входів, ізольованих групою з 16
- 16 виходів, ізольованих групами по 8.
- номінальна вхідна напруга 24 В пост. струму
- номінальна напруга на навантаженні 24 В пост. струму
- придатний для перемикачів, 2/3/4-дротяних датчиків близькості (*BERO*), соленоїдних вентилів, контакторів постійного струму і індикаторних ламп.

2.4.4 Аналоговий модуль вводу

Тип: *SM 331; AI 8 x 12 Bit*

Номер для замовлення *6ES7 331-7KF01-0AB0*

Характеристики:

- 8 входів в 4 групах каналів
- Розрядність вимірюваного значення; встановлюється на групу (в залежності від встановленого часу інтегрування)
 - 9 біт + знак
 - 12 біт + знак
 - 14 біт + знак
- Вид вимірювання, вибирається для групи каналів:
 - напруга
 - струм
 - опір
 - температура
- Довільний вибір діапазону вимірювань на групу каналів
- Програмована діагностика
- Програмований діагностичне переривання
- Два канали з контролем кордонів
- Програмований переривання при переході межі
- Гальванічна розв'язка з *CPU*
- Гальванічна розв'язка з вхідною напругою (не для 2-х провідного перетворювача)

2.4.5 Аналоговий модуль виводу

Тип: *SM 332; AO 2 x 12 Bit*

Номер для замовлення *6ES7 332-5HB01-0AB0*

Характеристики:

- 2 виходи в 2 групах каналів
- Окремі вихідні канали можуть бути запрограмовані як
 - Потенційні виходи
 - Струмові виходи
- Розрядність 12 біт

- Програмована діагностика
- Програмований діагностичне переривання
- Програмований заміняє початкове значення
- Гальванічна розв'язка з *CPU* і напругою на навантаженні

2.4.6 Блок живлення

Баланс струмів і потужностей контролера і модулів вводу/виводу становить близько 1,4 А. Канали дискретного виводу, згідно з паспортними даними, мають сумарний вихідний струм – максимум $(2 \cdot 3\text{A}) = 6\text{A}$ при температурі $+ 40^\circ\text{C}$. Для живлення решти периферії зарезервуємо 2А. Необхідний вихідний струм блоку живлення $(1,3 + 2 + 6) \text{ A} = 9,3\text{A}$ приймаємо рівним 10 А.

Тип: *PS 307; 10 A*

Номер для замовлення *6ES7 307-1KA00-0AA0*

Характеристики:

- вихідний струм 10 А
- вихідна напруга 24 В пост. струму; захист від короткого замикання і обриву ланцюга
- підключення до однофазної системи змінного струму (вхідна напруга 120/230В змінного струму, 50/60 Гц)
- надійна електрична ізоляція відповідно до *EN 60950*

Розрахуємо баланс струмів і потужностей, щоб визначити сумарну споживану потужність модулів і розсіюється втрат.

Структура *S7-300* складається з наступних модулів:

- 1 блок живлення *PS 307; 10 A*
- 1 *CPU 314*
- 2 модуля цифрового введення/виводу *SM 323; DI 16 / DO16 x DC24V, 0.5 A*
- 1 модуль аналогового введення *SM 331; AI 8 DEC Bit*
- 1 модуль аналогового виведення *SM 332; AO DEC Bit*

У таблиці 2.3 показаний баланс струмів і потужностей втрат структури S7–300. Ці значення підсумовуються.

Таблиця 2.3 - Баланс струмів і потужностей втрат

Модуль	Споживання струму з задньої шини	Споживання струму з модуля робочого живлення 24 В	Потужність втрат
Блок живлення <i>PS 307; 10 А</i>	–	–	30 Вт
<i>CPU 312</i>	–	0.8 А	9 Вт
2 модуля цифрового вводу/виводу <i>SM 323; DI 16/DO16 x DC24V</i>	$(2 * 55 \text{ мА}) = 110 \text{ мА}$	$(2 * 100 \text{ мА}) = 200 \text{ мА}$	$(2 * 6,5 \text{ Вт}) = 13 \text{ Вт}$
1 модуль аналогового вводу <i>SM 331; AI 8 x 12 Bit</i>	60 мА	200 мА	1.3 Вт
2 модуля аналогового виводу <i>SM 332; AO2 x 12 Bit</i>	$(2 * 60 \text{ мА}) = 120 \text{ мА}$	$(2 * 135 \text{ мА}) = 270 \text{ мА}$	$(2 * 3 \text{ Вт}) = 6 \text{ Вт}$
Сума:	290 мА	1.27 А	59.3 Вт

З таблиці 2.3 виходять такі результати:

1. Споживання струму з задньої шини: Споживання струму усіма сигнальними модулями з задньої шини становить 0.29 А і, таким чином, не перевищує 0.8 А, які CPU 314 може поставити в задню шину.

2. Споживання струму з джерела робочого живлення 24 В: споживання струму усіма сигнальними модулями з джерела робочого живлення 24 В становить близько 1,3 А. Крім того, необхідно врахувати всі інші підключені навантаження.

Потужність втрат всієї структури S7–300 становить близько 60 Вт.

Потужність втрат всіх використовуваних компонентів в шафі (включаючи структуру S7–300 з 60 Вт) не повинна перевищувати максимальну виведену потужність шафи. При визначенні розмірів шафи необхідно врахувати, щоб і при високих зовнішніх температурах температура в шафі не перевищувала допустимих 60°C.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТКОВИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСУ

3.1 Зв'язок досліджень із сучасними напрямками

Підвищення ефективності гібридних суднових комбінованих пропульсивних комплексів (КПК) за різними критеріями стратегій енергоменеджменту.

На основі класифікації топологій схемних рішень суднових енергетичних установок (СЕУ) КПК, для механічних, електричних та гібридних типів двигунів визначено блок-схеми стратегій управління для критерію мінімального споживання енергії. Зміна технічної складової традиційного підходу до побудови систем електропостачання гібридних КПК застосовується принцип модифікації структури СЕУ з інтеграцією додаткового статичного джерела живлення як динамічного резерву, що дозволило відповідати сучасним вимогам щодо енергоефективності, рівнів вібрації, шуму та ефектів деградації, що виробляються для SPP CPC, у всіх областях енергії для передачі енергії до гвинтів. Моделювання енергетичної передачі енергії до гвинтів у MatLab/Simulink здійснюється за допомогою блоків оптимізації та визначення ідентифікаційних маркерів.

Результатом є визначення основних переваг та недоліків СЕУ КПК залежно від топології систем розподілу енергії. Відповідно до обраної структури системи розподілу електроенергії були отримані принципи передачі електроенергії у СЕУ КПК та енергетичних системах та їх стратегій управління з точки зору підвищення ефективності та усунення цих недоліків. І, нарешті, було поліпшено математичний апарат для досліджень процесів передачі енергії з точки зору розробки методів проектування та управління гібридними СЕУ КПК з метою зменшення споживання палива, викидів у навколишнє середовище та підвищення рівня ремонтпридатності, гнучкості та рівня комфорту.

Оригінальність запропонованої методології полягає у вдосконаленні впровадження СЕУ КПК шляхом розробки методів ідентифікації маркерів

деградаційних ефектів, які впливають на процеси в СЕУ КПК, та у реалізації цих методів у розрахункових та інформаційних системах.

Метод передбачає ітеративні параметри оптимізації SPP CPC, він може бути використаний як засіб інтелектуального дизайну, який є результатом застосування покращеної продуктивності SPP CPC.

Розробка прибережного шельфу (добуток природних копалин, будівництво вітряних та приливних електростанцій, пелагічне рибальство тощо) передбачає розвиток високотехнологічних наукомістких галузей морської індустрії, які передбачають будівництво та експлуатацію суден для забезпечення розвідувально-бурових, підйомно-транспортних та вантажно-розвантажувальних робіт в різних експлуатаційних умовах (так званий [офшорний флот](#)). Подібні судна обладнаються інноваційними комбінованими пропульсивними комплексами ([КПК](#)) із судновими енергетичними установками (СЕУ), які будуються за принципом [єдиних електроенергетичних систем](#).

Проблеми підвищення енергоефективності, викликані дефіцитом енергоресурсів і прагненням до поліпшення екологічних показників СЕУ КПК, лежать в основі вимог, встановлених Міжнародною морською організацією ([International Maritime Organization](#)) в [Додатку VI](#) до Міжнародної конвенції по запобіганню забруднення з суден (МАРПОЛ) щодо конструктивного коефіцієнту енергоефективності (ККЕЕ) (англ. [Energy Efficiency Design Index](#) – *EEDI*) та експлуатаційного коефіцієнту енергоефективності (ЕКЕЕ) (англ. [Energy Efficiency Operational Index](#) – *EEOI*) у рамках розробки і виконання плану управління енергоефективністю судна (ПУЕЕС) (англ. [Ship Energy Efficiency Management Plan](#) – *SEEMP*) в процесі підвищення ефективності функціонування та експлуатації.

Таким чином, можна сформулювати актуальну науково-технічну проблему у галузі розвитку транспорту, транспортних технологій і відповідної інфраструктури: дослідження, розробка і прогнозування методів удосконалення експлуатаційних характеристик СЕУ КПК, які б забезпечували підвищення ефективності їх функціонування неможливо без встановлення закономірностей змінювання

параметрів та впровадження методів і засобів діагностування та прогнозування технічного стану СЕУ КПК в процесі експлуатації.

З іншого боку, розробка стратегій, методів і засобів підвищення ефективності функціонування СЕУ КПК обмежені істотним комплексом суперечливих, конфліктних, а іноді і взаємовиключних факторів і ситуацій: необхідністю аналізу експлуатації СЕУ КПК під час розвідувально-бурових, підйомно-транспортних та вантажно-розвантажувальних робіт в різних експлуатаційних умовах; потребою у аналізі процесів на перетинах енергетичних потоків у СЕУ і КПК з підрулюючими пристроями ([III](#)) та відсутністю методів реєстрації деградаційних ефектів, які суттєво впливають на ці процеси; необхідністю удосконалення методів обчислювальної гідродинаміки для відстежування деградаційних ефектів на лініях потоків гребних гвинтів та відсутністю фізичних моделей реєстраційних компонентів системи моніторингу деградаційних ефектів на лініях валопроводів; необхідністю синтезу математичних моделей всережимних регуляторів оборотів ПП із одночасним удосконаленням математичного апарату при моделюванні енергетичних процесів в СЕУ КПК в різних експлуатаційних режимах; формулюванням і об'єднанням критеріїв вибору рішень, заснованих на множині як самих СЕУ КПК так і експлуатаційних режимів у яких вони працюють та відсутністю формалізованих фізичних моделей багатофункціональних КПК з урахуванням ситуаційних факторів довкілля і ідентифікаційних чинників експлуатаційних режимів; затребуваністю у стратегіях управління розподілом потужності в СЕУ КПК та відсутністю методології створення математичних моделей суднових електроенергетичних систем (СЕЕС) з багатоштинними конструкціями, що враховують гідродинамічні властивості судна з можливістю оцінки їх впливу на енергетичні процеси; розробкою технології реалізації СППР СЕУ КПК та наявністю інтелектуальних, поведінкових і когнітивних обмежень людини, що приймає рішення (ЛПР).

Ефективний розподіл потужностей між альтернативними генеруючими елементами (АГЕ), [системою накопичення енергії](#) (СНЕ), судновою електроенергетичною системою (СЕЕС) та іншими складовими СЕУ під час зміни

експлуатаційних режимів можливо за рахунок удосконалення стратегії керування гібридними СЕУ КПК за критерієм мінімуму споживання електроенергії або за критерієм максимуму отримання альтернативної енергії із регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ.

Це можливо здійснити шляхом синтезу трирівневої багатокритеріальної стратегії управління розподілом енергії у гібридній СЕУ КПК шляхом інтеграції класичної стратегії управління розподілом потужності зі стратегією із контролем за станом [СОДГ](#) і ступенем заряду АГЕ [СНЕ](#), яка буде відрізнятися від існуючих вищою швидкістю виявлення ризику знеструмлення СЕЕС, більшою надійністю і точністю визначення необхідності зниження навантаження та є повністю інтегрованою із всережимними регуляторами частоти обертання ПП і системою електроживлення.

Метою роботи є розвиток теорії, методології та технології у галузі підвищення ефективності функціонування суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів.

Для досягнення визначеної мети необхідно буде розв'язати проблему підвищення ефективності гібридних СЕУ КПК методом поєднання критеріїв стратегій управління розподілом енергії.

3.2 Забезпечення динамічних показників якості процесів передачі енергії в умовах різновекторних навантажень

В залежності від типу [КПК](#) використовується той чи інший з трьох відомих способів його динамічного утримання над точкою буріння, в залежності від чого застосовується та чи інша система управління розподілу потужності ([PMS](#)). СЕУ КПК зазвичай складається з 6÷10 потужних двигунів [ПП](#) різноманітних конструкцій в залежності від розташування на судні для позиціонування, які живляться від 4÷6 високовольтних СОДГ.

СОДГ підключаються до шин як найменш двох головних розподільних щитів (ГРЩ), з'єднаних між собою за допомогою інтегрального вимикача. Функції [PMS](#)

реалізовані в трьох незалежних системах управління, а саме: система динамічного позиціонування (англ. *Dynamic Positioning* – [DP](#)), свердління постійного струму (англ. *drilling DC power*) і системи управління даними (англ. *Data Management Systems* – *DMS*).

У таких проектах функції управління живленням кожної системи працюють самостійно і мають спеціальні входи для датчиків з основних електричних мереж [1-6].

Системи розраховують загальну потужність, враховуючі загальне навантаження. Якщо загальне навантаження системи перевищує певні межі, встановлені заздалегідь, вони зменшуються. Система також знизить навантаження, якщо навантаження на будь-який окремий [СОДГ](#) перевищить попередньо встановлену межу. Така структура дозволяє не перевищувати навантаження на окремий СОДГ навіть під час впливу зворотної потужності від будь-якого СОДГ або відмови компонента датчика.

У разі перевантаження, системи [DP](#) будуть зменшувати потребу потужності в заздалегідь визначених межах, знижуючи тим самим навантаження на ГРЩ, а система *DMS* видає сигнал на запуск резерву, щоб збільшити основну пропускну здатність ГРЩ.

На сучасному етапі технічної експлуатації подібних систем стоять наступні проблеми:

- дотримання систем [DP](#) вимогам менеджменту якості (англ. *Failure modes and effects analysis* – *FMEA*), з якими стикаються на етапі експлуатації [7, 8];
- уніфікація [PMS](#) у комбінації функцій по відношенню до інших подібних [9, 10];
- незалежність складових систем [PMS](#) одна від одної навіть до рівня датчиків [11-13];
- не тільки зменшення потужності в розрахунку на загальне розрахункове навантаження, але також і навантаження окремого СОДГ [14-16];
- відповідність системи умовам збільшення навантаження з точки зору достатності для забезпечення нормальної роботи в залежності від будь-якої

ненормального режиму і не перевантажування суднової електроенергетичної системи (СЕЕС) взагалі [17-21].

3.3 Визначення критеріїв застосування стратегій управління енергоспоживанням

Система керування (СК) гібридним [ДЕПК](#) розподіляє потужність між [СГЕ](#), [СНЕ](#) і СЕЕС відповідно до обраної стратегії управління енергоспоживанням:

- із контролем за станом [СОДГ](#) (англ. *State machine control strategy – SMCS*);
- з *PI* управлінням (класична) та регулюванням ступеню заряду батарей (англ. *State-of-Charge – SOC*) СНЕ (англ. *Classical PI control strategy with SOC's regulation – CPICS*);

- із контролем частоти і стану СОДГ та регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ (англ. *Frequency decoupling and state machine control strategy with SOC's regulation – FDSMCS*);

- за критерієм мінімуму споживання електроенергії (англ. *Equivalent consumption minimization strategy – ECMS*);

- за критерієм отримання максимуму альтернативної енергії та регулюванням ступеню заряду батарей [СНЕ](#) (англ. *External energy maximization strategy with SOC's regulation – EEMS*).

Основне призначення [СГЕ](#) як [АДЕ](#) у наведеному на рис. 1 гібридному [ДЕПК](#) – ввід в дію СЕЕС після знеструмлення і підтримка потужності у маневрових режимах роботи судна, одним з яких є режим [ДР](#). В залежності від обраної стратегії управління енергоспоживанням, СК регулює потужність кожного джерела енергії у відповідності до заданих вихідної напруги і максимального струму [СГЕ](#), [СНЕ](#) і силових перетворювачів (ППН, ІН).

Недоліками наведеної функціональної схеми гібридного [ДЕПК](#) є:

- неузгодженість параметрів СОДГ з іншими компонентами, що призводить до нерівномірного регулювання магнітних потоків і амплітуд напруг, що викликає

додаткове підвищення пульсацій напруги на виході конвертерів і виникнення зрівняльних струмів при синхронній роботі;

– підвищений рівень гармонік в струмі споживачів енергії;

– знижена надійність, економічність, підвищені габарити і маса, які виникають за рахунок застосування елементів підвищеної потужності і комплектів обладнання до них;

– відсутність можливості симетрування трифазної системи напруг живлення при нерівномірному завантаженні фаз.

Аналіз рисунку 3.1 дозволяє зробити висновок, що управління гібридним ДЕПК є дуже складним процесом, який потребує урахування великої кількості чинників енергетичних та експлуатаційних складових. Наприклад, такий компонент гібридного ДЕПК, як СНЕ, базується на застосуванні [літій-іонних акумуляторних батарей](#) (ЛІАБ, англ. [Lithium-ion batteries](#) – LIB) [22].

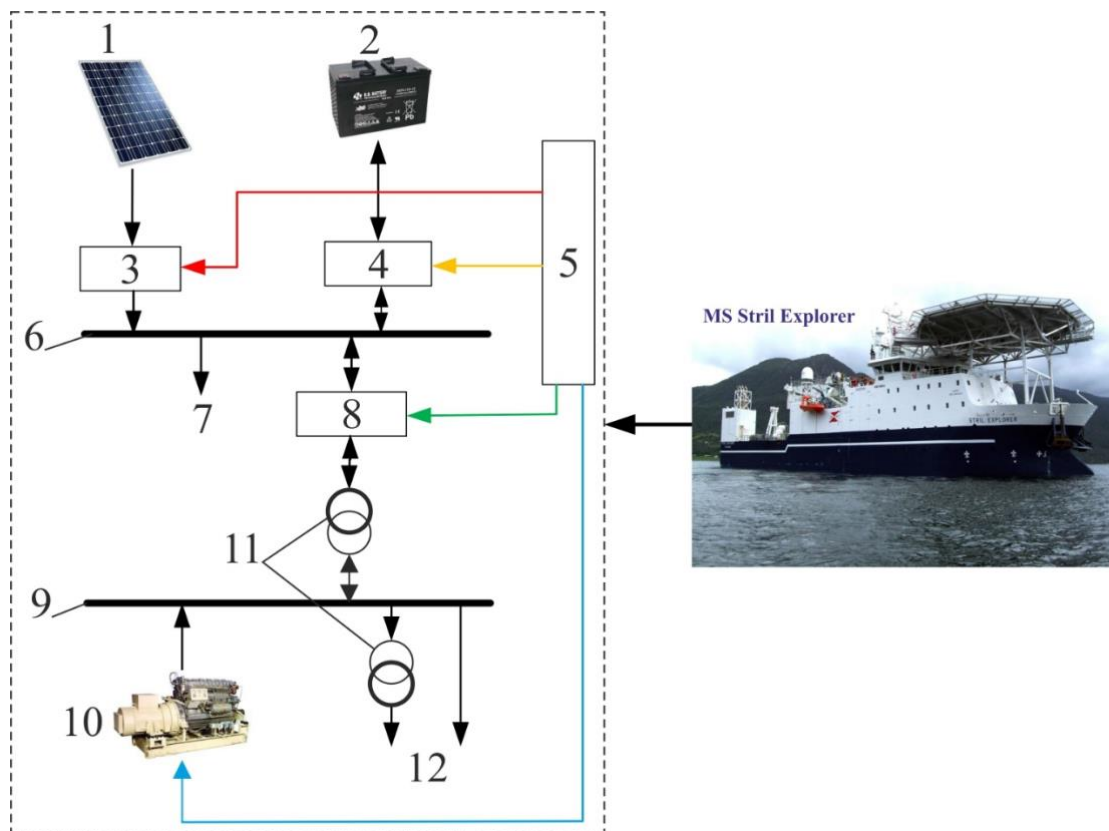


Рисунок 3.1 - Структурна функціональна схема гібридного [ДЕПК](#)

1 – сонячні генеруючі елементи ([СГЕ](#), англ. *photovoltaic (PV) generation system – PVGS*); 2 – система накопичення енергії ([СНЕ](#), англ. *ESS*); 3, 4 – перетворювач (конвертер) постійної напруги (ППН, англ. *DC/DC converter*); 5 – система керування (СК) гібридним ДЕПК; 6 – ланка постійного струму (ЛПС, англ. [DC-link](#)); 7 – до споживачів постійного струму, наприклад – гальмівних опорів (англ. *resistor back unit – RBU*); 8 – інвертор напруги (ІН, англ. *voltage source inverter – VSI*) або струму (ІС, англ. *current source inverter – CSI*), 9 – головний розподільний щит високої напруги (ГРЩ ВН, англ. *high voltage switchboard – HVSB*); 10 – суднова електроенергетична система (СЕЕС, англ. *ships power plant – SPP*) з середньо–обертovими дизель–генераторами (СОДГ, англ. *medium speed engine – MSE*); 11 – трансформатори напруги, 12 – до споживачів змінного струму, зокрема – гребних електродвигунів ([ГЕД](#), англ. *propulsion electric motor – PEM*), підрулюючих пристроїв ([ПП](#), англ. *thruster – THR*), головного розподільного щиту низької напруги (ГРЩ НН, англ. *low voltage switchboard – LVSB*).

Різноманіття режимів СЕУ [КПК](#) при застосуванні ЛІАБ визначає не тільки більшу номенклатуру вироблених ємностей і типорозмірів акумуляторів, а й широкі діапазони напруг (від семи до декількох сотень вольт) батарей на їх основі, необхідних для реалізації певних потужних, енергетичних і експлуатаційних характеристик СНЕ [23, 24].

При наявності небезпечних зовнішніх впливів на СНЕ їх конструктивне виконання ускладняється, також як і в разі потужних батарей (особливо для гібридних ДЕПК), які потребують додаткового повітряного або рідинного охолодження [25].

На [Рисунок 3.2](#) представлена структурна функціональна схема гібридного [ДЕПК](#) з фрагментацією [СНЕ](#).

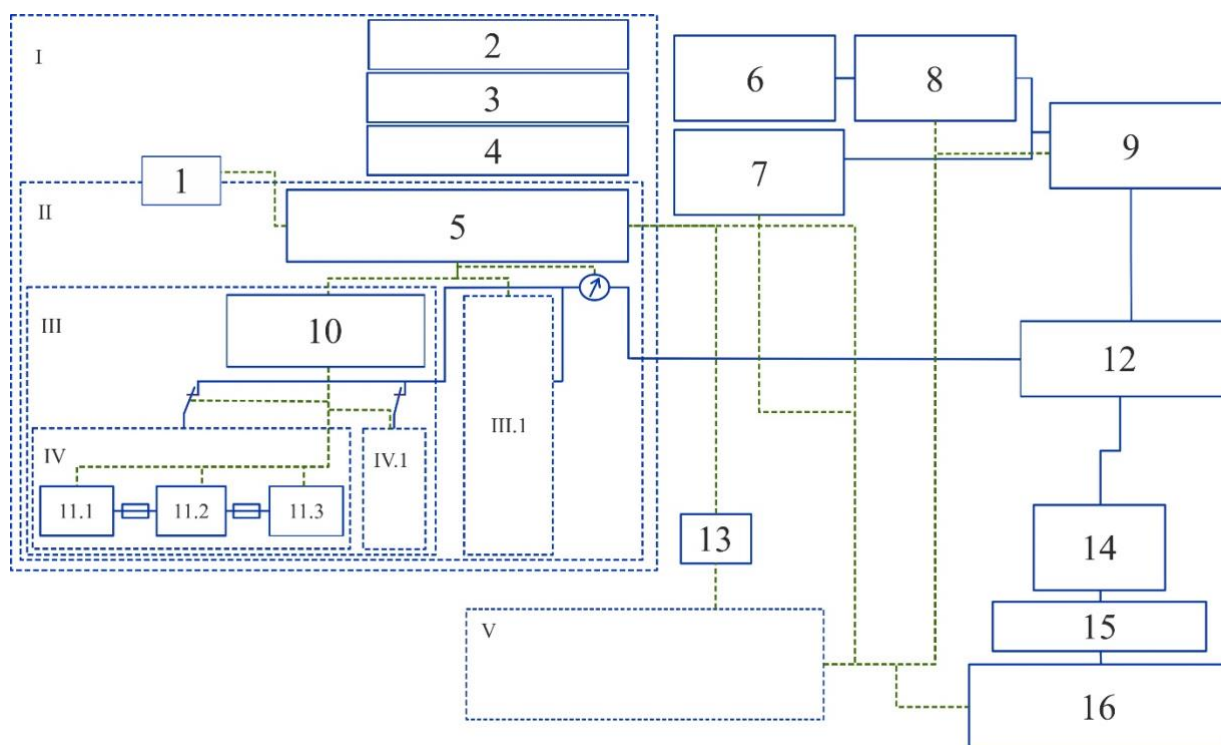


Рисунок 3.2 - Структурна функціональна схема гібридного [ДЕПК](#) з фрагментацією [СНЕ](#)

I – акумуляторне приміщення з системою кондиціонування (2), вентиляції (3) і пожежогасіння (4); II – СНЕ з пристроєм температурного контролю (1) і селективною СК (англ. *Battery Management System* – *BMS*) акумуляторними модульними збірками (АМЗ – 5); III – АМЗ з системою контролю напруги і температури (10) ; IV – акумуляторний модуль (АМ) з паралельно-послідовним підключенням акумуляторних батарей (АБ – 11); V – система управління розподіленням електроенергії (СРЕЕ, [PMS](#)); 6 – берегова мережа живлення; 7 – СОДГ; 8 – розподільний щит (РЩ) живлення з берегу; 9 – автоматичний зарядний пристрій (АЗП, англ. *charger, AC/DC converter*); 12 – ЛПС з ППН; 13 – СК гібридним [ДЕПК](#); 14 – ІН або ІС; 15 – ГРЩ ВН; 16 – СЕЕС зі споживачами змінного струму, зокрема – [ГЕД](#), [ПП](#), ГРЩ НН.

При проектуванні гібридних ДЕПК загальними вимогами для всіх [ЛІАБ](#) є забезпечення безпеки і зручності експлуатації, а також досягнення при циклічному режимі роботи повного розряду всіх АБ, а не робота за графіком найбільш слабкого елемента. Це досягається введенням до складу СНЕ селективної СК (англ. *Battery*

Management System – BMS) акумуляторними модульними збірками (АМЗ), що здійснює моніторинг стану і захист батареї від виникнення небезпечних режимів роботи і надає інформацію про її основні параметри [26-28].

З огляду на високу потужність і великий запас енергії, а також пожеже-небезпечність застосовуваного в ЛАБ електроліту, основним завданням СК АМЗ можна вважати захист АБ при виникненні небезпечних режимів роботи. До них, перш за все, відносяться струмові перевантаження і короткі замикання силових ланцюгів, перегрів АБ, перезарядка і надмірний розряд ЛАБ.

Захист від виникнення небезпечних режимів роботи здійснюється шляхом нівелювання розбалансу напруг ЛАБ і формування керуючих сигналів (КС) для зміни режиму роботи зовнішніх пристроїв або для відключення АБ від зовнішніх силових ланцюгів за допомогою комутаційної апаратури, яка конструктивно розміщується як у складі АБ, так і поза ними [29, 30].

З огляду на вищесказане, можна зробити висновок, що розвиток ДЕПК потребує додаткових досліджень в області удосконалення енергетичних процесів, пов'язаних із застосуванням у ДЕПК альтернативних джерел енергії. Останні потребують розробки сучасних локальних СК з точки зору їх інтеграції у СК гібридними ДЕПК.

3.4 Методика створення математичних моделей електроенергетичних систем з багатоштинними конструкціями

Залежно від точки підключення, просторовий вектор споживаного [ГЕД](#) (АД або СД) струму буде обертатися в d, q -координатах з частотою, що визначається фазою навантаження, яка в свою чергу, залежить від різниці імпедансу в точці підключення і найближчої високовольтної шини [СОДГ](#) (Рисунок 3.3).

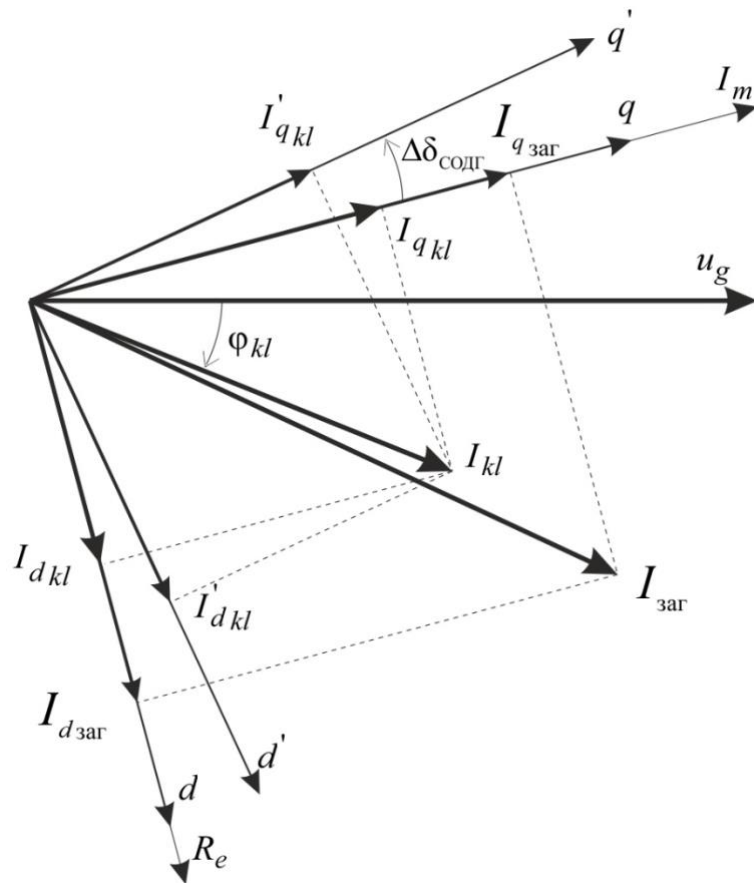


Рисунок 3.3 - Векторна діаграма для ділянки kl

(k, l – натуральне число) високовольтної шини із підключеними до неї АД и [СОДГ](#): u_g – напруга на шинах, в. о.; $I_{\text{заг}}$ – загальний споживаний струм АД, в. о.; $\Delta\delta_{\text{СОДГ}}$ – кут навантаження; φ_{kl} – фаза струму статора АД.

Рівняння моделі одного СОДГ, підключеного до шин, можна описати системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{\Psi}}{dt} = (W(n) + FX^{-1})\bar{\Psi} + Nu_g + gu_f \\ \frac{dn}{dt} = \frac{1}{t}(t_{m_СОДГ} - \bar{\Psi}'(M'KM)X^{-1}\bar{\Psi}) \\ \Delta \frac{d\delta_{\text{СОДГ}}}{dt} = \omega_N(n - n_1), \end{cases} \quad (3.1)$$

де: – $\bar{\Psi}$ – вектор потокозчеплення обмотки статора;
– u_f – напруга збудження, в. о.;

- n – частота обертання, $[\text{с}^{-1}]$ валу генератору, в. о.;
- ω_N – номінальна частота обертання, $[\text{рад/с}]$;
- r_{ss} – опір обмотки статора АД, в. о.;
- r_{lk} – опір шини між точками lk , в. о.;
- t_d, t_q – повздовжня і поперечна складові постійної часу демпферної обмотки [СОДГ](#), с;
- t_f – постійна часу обмотки збудження, с;
- x_d, x_q – повздовжня і поперечна складові значення реактивного опору розсіяння обмоток статора, в. о.;
- $k_{\mu d}, k_{\mu q}, k_{\mu f}$ – повздовжня і поперечна складові значення коефіцієнту насичення демпферної і статорної обмоток СОДГ і обмотки збудження;
- μ_d, μ_f – коефіцієнти взаємоіндукції між обмоткою статора і демпферною, між обмоткою збудження и демпферною.

$$W(n) = \begin{bmatrix} 0 & \omega_N n & 0 & 0 & 0 \\ -\omega_N n & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad N = \begin{bmatrix} \omega_N & 0 \\ 0 & \omega_N \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad (3.2)$$

$$F = \begin{bmatrix} \omega_N(r_{ss} + r_{kl}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \omega_N(r_{ss} + r_{kl}) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1/t_d & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/t_q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1/t_f \end{bmatrix}; \quad (3.3)$$

$$X = \begin{bmatrix} -x_d & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -x_q & 0 & 1 & 0 \\ -(1 - k_{\mu d})x_d & 0 & 1 & 0 & \mu_d \\ 0 & -(1 - k_{\mu q})x_d & 0 & 1 & 0 \\ -(1 - k_{\mu f})x_d & 0 & \mu_f & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad g = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{t_f} \end{bmatrix}^t. \quad (3.4)$$

Тоді, із виразу (3.1), вектор поточозчеплення ψ СОДГ зв'язаний з величинами, що характеризують обмотку статора виразом:

$$h(\bar{\Psi}) = \bar{\Psi}_s^t K i_s = \bar{\Psi}^t (M^t K M) X^{-1} \bar{\Psi}, \quad (3.5)$$

$$\text{де } K = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}; \quad M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad M^t K M = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Спільне рішення виразів (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) дозволяє визначити постійну інтегрування, що характеризують уставки ПД-регуляторів [СОДГ](#) при їх паралельній роботі. Регулятори налаштовуються так, що один з регуляторів контролює частоту і напругу, а інший на постачання активної і реактивної потужностей з уставками, взятими щодо потужності першого генератора. Таким способом досягається рівномірний розподіл навантаження:

$$c = x_d (\mu_f (\mu_d + k_{\mu d} - 1) - \mu_d + 1 - k_{\mu d} + k_{\mu f} (k_{\mu q} - 1)).$$

Значення струму статора i_s , активної (P) и реактивної (Q) потужностей знаходяться із рівняння:

$$\begin{cases} i_s = M X^{-1} \bar{\Psi} \\ P = u_g^t i_s = u_g^t M X^{-1} \bar{\Psi} \\ Q = -u_g^t K i_s = -u_g^t K M X^{-1} \bar{\Psi}. \end{cases} \quad (3.6)$$

У разі збільшення загального навантаження, підключений на паралельну роботу генератор в початковий момент, сумірний з постійними часу СОДГ, може автоматично «взяти на себе» весь надлишок затребуваної споживачами потужності. Це пов'язано з тим, що, решта генераторів, що працюють в сталому режимі, будуть поставляти постійні потужності в залежності від уставок, що може привести до несподіваної неузгодженості навантаження між генераторами.

Щоб уникнути такого неузгодженості, в залежності від споживаного струму і з розрахунку розбіжності між потужністю конкретного генератора і підключеного, блок розподілу навантаження, шляхом впливу на ПД-регулятори СОДГ по частоті обертання і напрузі, усуне неузгодженість, що виникне.

3.5 Удосконалення системи контролю та управління енергетичними процесами

Для захисту [СНЕ](#) від перезарядження і перерозрядження локальна СК здійснює вимір напруги кожного елементу в [ЛІАБ](#). При цьому вимірювальні ланцюги усіх акумуляторів повинні бути гальванічно розв'язані і розраховані на роботу при напрузі, відповідній максимальній напрузі СНЕ ([Рисунок 3.2](#)). Для більшості застосувань точність вимірювання напруги ЛІАБ повинна бути не гірше ± 20 мВ. При формуванні СК за рівнем напруги ЛІАБ необхідно враховувати падіння напруги на їхньому внутрішньому опорі і температуру.

Поелементний контроль температури [ЛІАБ](#) необхідний також для захисту [СНЕ](#) від перегрівання. Останнім часом для цих цілей часто застосовуються датчики температури з цифровим або аналоговим виходом, відносно прості у використанні, що забезпечують точність вимірювання $\pm(1 - 2)^\circ\text{C}$. Терморезистори або термопари продовжують використовуватися для ряду спеціальних застосувань, пов'язаних з роботою СНЕ в екстремальних умовах або з обмеженнями у використанні імпоротної елементної бази.

Для вимірювання струму в СНЕ поряд з шунтами використовуються датчики струму холловського типу, широка номенклатура яких дозволяє вимірювати струми в діапазоні від 10 до 1000 А з точністю порядку $\pm 2\%$. Крім підрахунку зарядної і розрядної ємностей [ЛІАБ](#), величина струму необхідна для розрахунку коригувальних поправок до вимірних значень напруги ЛІАБ.

Датчики струму також можуть бути використані для захисту від струмових перевантажень силових ланцюгів СНЕ поряд з плавкими вставками або запобіжниками, що самовідновлюються і захищають ЛІАБ тільки від струмів КЗ і не ефективні при відносно невеликих (1,5-2-кратних) струмових перевантаженнях.

Найбільш складним, з точки зору реалізації, завданням є забезпечення працездатності СНЕ при відмовах (КЗ або обрив) всередині ЛАБ. Обрив в ЛАБ найбільш небезпечний при їх послідовному з'єднанні в СНЕ, коротке замикання – при їх паралельному з'єднанні.

При паралельному з'єднанні ЛАБ додатково для захисту від наслідків внутрішніх КЗ послідовно з кожним з них встановлюється плавка вставка.

Для збереження працездатності [СНЕ](#) при відмові одного з ЛАБ при їх послідовному з'єднанні необхідно вивести його з силового ланцюга, одночасно зберігаючи її цілісність. Для цього використовуються електромеханічні або електронні байпасні пристрої, які управляються локальною СК, які встановлюються безпосередньо на [ЛАБ](#) для відводу через них тепла, що виділяється [31].

Важливою функцією локальної СК є апаратне вирівнювання ступеню зарядженості (нівелювання розбалансом напруг) одиничних [ЛАБ](#) в [СНЕ](#). Причиною розбалансу напруг є відмінність у ступені зарядженості АБ, що зумовлено відмінностями в швидкостях їх саморозряду, який визначається як струмами витоку через зовнішні і внутрішні електричні ланцюги АБ, так і електрохімічними процесами, що протікають на їх електродах.

Наслідком розбалансу напруг є робота СНЕ по «гіршій» (найбільш розрядженій внутрішній) ЛАБ, навіть якщо вона має найбільшу номінальну ємність серед усіх АБ в СНЕ.

Апаратні методи нівелювання розбалансу напруг, що є складовими [СППР](#) при проектуванні СЕУ КПК, можна розділити на наступні:

- найбільш простий в реалізації пасивний метод, коли ЛАБ з підвищеною напругою розряджається за допомогою резистора, що підключається паралельно їй;
- активні методи, що забезпечують вирівнювання напруг АБ шляхом перерозподілу енергії між ними;
- системні методи, що забезпечують індивідуальний (незалежний) режим заряду для кожній ЛАБ.

Найбільш простим, але досить ефективним системним методом нівелювання розбалансу в ЛАБ великої та надвеликої ємності є їх заряд багатоканальними автоматичними зарядними пристроями (АЗП, англ. *charger, AC/DC converter*) (Рисунок 3.1).

Для низьковольтних портативних ЛАБ добре зарекомендували себе схемотехнічні рішення, що забезпечують автоматичну перекомутацію ЛАБ з послідовної схеми на паралельну при підключенні до неї спеціалізованого АЗП [32, 33].

В активних методах реалізуються трансформаторні схеми перерозподілу енергії в [ЛАБ](#) або використовується підзаряд «відстаючих» АБ від одного або декількох джерел постійного струму, живлення яких здійснюється з виходу АБ або від зовнішнього джерела енергії (наприклад, АЗП, [СГЕ](#), іншого джерела поновлюваної енергії). Такі пристрої, що забезпечують великі перетікаючі струми, дозволяють не тільки нівелювати розбаланс напруг в АБ, а й забезпечувати їх повний розряд, а не працювати за графіком «гіршої» [ЛАБ](#).

Для зручності експлуатації АБ інформація про її стан може передаватися в інтегровану СК гібридним [ДЕПК](#) по стандартному цифровому каналу, виводитися на дисплей або відображатися за допомогою світлодіодів, використовуючи інтуїтивно зрозумілу «світлофорну» колірну символіку.

Високовольтні високоємнісні АБ будуються за модульним принципом виходячи з вимог забезпечення електробезпеки при монтажі та ремонті, а також можливості їх транспортування і монтажу з мінімальним використанням підйомно-транспортних механізмів (ПТМ). У них використовуються СК також побудовані за модульним принципом з 2-3 рівнями керування.

При побудові потужних [СНЕ](#) для гібридних ДЕПК на перший план виходять вимоги безпеки при їх монтажі, експлуатації, технічного обслуговування і ремонту. Для резервних АБ важливою вимогою є тривале збереження технічних характеристик в режимі очікування підключення до навантаження, гарантований перехід і забезпечення заданого режиму розряду по команді, час надходження якої є невизначеним. Час перебування батареї в режимі очікування може бути від

кількох місяців до десяти і більше років. Високо-енерго-ємнісні АБ можуть бути побудовані по послідовно-паралельній або паралельно-послідовній схемах [34-36].

Заданий термін експлуатації і безперебійність роботи [ЛПАБ](#) досягаються: шляхом застосування комплектуючих виробів і матеріалів з відповідними термінами служби; за рахунок структурного резервування в АБ; за рахунок використання АМЗ і безперервного моніторингу їх стану ([Рисунок 3.2](#)), що дозволяє проводити необхідні регламентні і ремонтно-відновлювальні роботи на окремих підсистемах [ЛПАБ](#) без виведення всієї батареї з режиму очікування в найкоротші терміни.

Алгоритм роботи АБ передбачає переключення із заданою періодичністю частини акумуляторних секцій в режим тестування, в якому вони підключаються до одного з штатних навантажень. В процесі тестування проводиться розряд номінальним струмом протягом 0,5 години.

За величиною напруги на кожному ЛПАБ в кінці розряду робиться висновок про зниження їх номінальної ємності і можливості подальшої експлуатації як окремих ЛПАБ, так і АМЗ в цілому. За результатами тестування і наявної інформації про роботу АМЗ в режимі очікування приймається рішення про проведення ремонтно-відновлювальних робіт на несправних секціях. Несправні АМЗ відключаються від вихідних шин [СНЕ](#). Всі справні АМЗ після закінчення тестового розряду підключаються на заряд від АЗП до напруги 4,2 В на будь-якому ЛПАБ. Подальший заряд для вирівнювання напруг на окремих ЛПАБ проводиться за допомогою внутрішніх пристроїв підзарядки зі складу СНЕ.

При паралельному з'єднанні ЛПАБ в силовому ланцюзі кожного з них повинен бути передбачений елемент захисту від перевантаження по струму (наприклад, плавка вставка), що захищає АМЗ від короткого замикання всередині окремих ЛПАБ, а локальна СК повинна забезпечувати контроль їх стану.

3.6 Методологія синтезу багатокритеріальних стратегій управління розподілом потужності

Пропонується використання у гібридній СЕЕС СЕУ [КПК](#) додаткового [АДЕ](#), котрий складається з двошарових електрохімічних конденсаторів (англ. *Electric double-layer capacitor* – *EDLC*). Блок-схема класичної стратегії управління гібридною СЕУ КПК із використанням *EDLC* за критерієм мінімуму споживання електроенергії показано на [Рисунок 3.4](#).

На підставі розробленого методу удосконалено стратегію управління СЕУ КПК за критерієм мінімуму споживання електроенергії (англ. *Equivalent consumption minimization strategy* – *ECMS*) шляхом введення критерію отримання максимуму альтернативної енергії та регулювання ступеню заряду батарей [СНЕ](#) (англ. *External energy maximization strategy with SOC's regulation* – *EEMS*) із використанням [АДЕ](#), щоб звести до мінімуму споживання палива.

Дотримання інших критеріїв, таких як шум, вібрація, викиди у довкілля або технічне обслуговування СОДГ в першу чергу залежить від робочої точки [СОДГ](#) і [АДЕ](#) і визначається настроюванням системи керування розподіленням електроенергії. Таким чином, аналогічні функції витрат в залежності від режиму роботи СОДГ можуть бути отримані за цими критеріями, а також і загальна оптимальна потужність СЕУ [КПК](#) може бути визначена з виваженою функцією витрат за кількома критеріями.

Найвищий рівень управління:

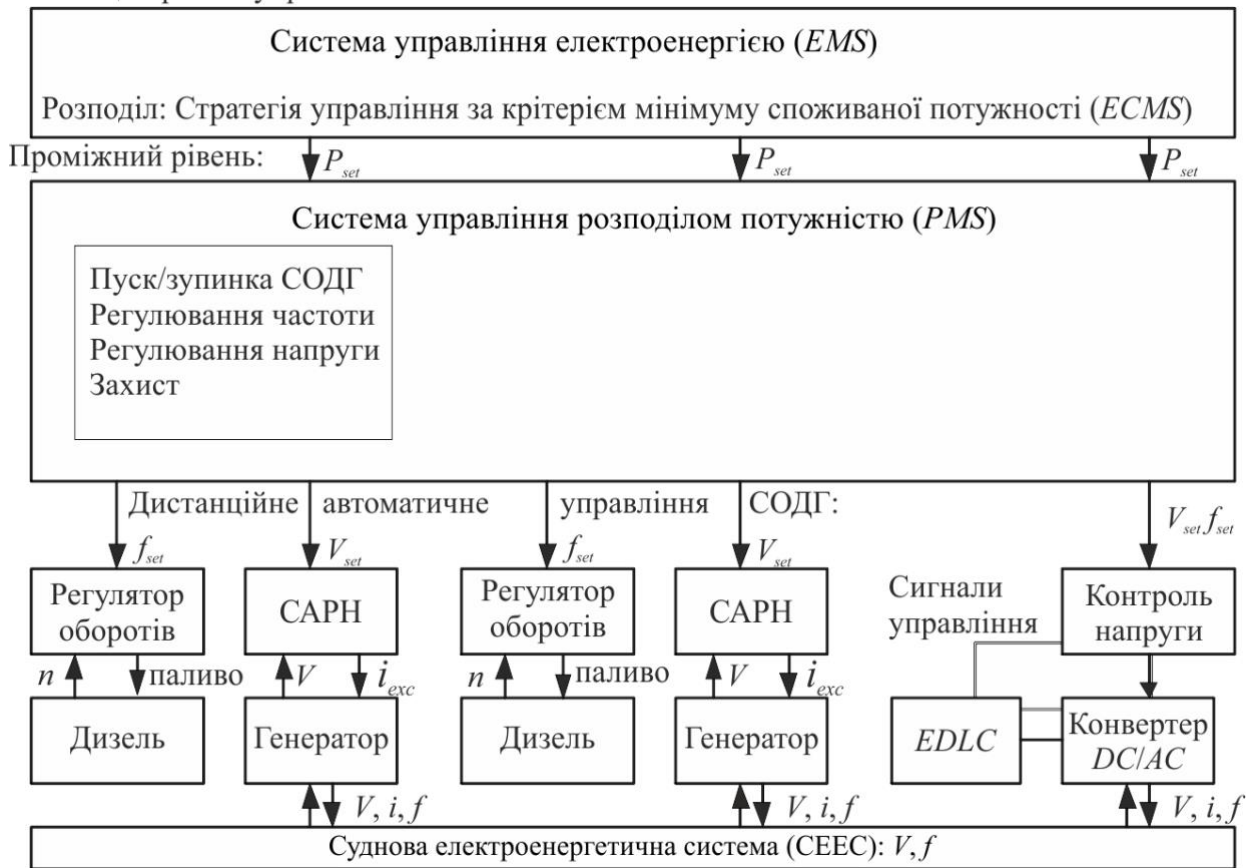


Рисунок 3.4 Блок-схема управління гібридною СЕУ [КПК](#) за критерієм мінімуму споживання електроенергії: САРН – система автоматичного регулювання напруги (англ. *Automatic Voltage Regulator – AVR*); X_{set} – уставка; P – потужність; f – частота напруги; V – напруга; n – частота обертання [СОДГ](#); i_{exc} – струм збудження генераторів; I – струм СОДГ.



Рисунок 3.5 - Блок-схема стратегії управління СЕУ [КПК](#) за критерієм максимуму альтернативної енергії та регулювання ступеню заряду батарей [СНЕ](#): САРН – система автоматичного регулювання напруги (англ. *Automatic Voltage Regulator – AVR*); X_{set} – уставка; T – упор (момент); F – сила поштовху гвинта; f – частота напруги; V – напруга; n – частота обертання [СОДГ](#); i_{exc} – струм збудження генераторів; i – струм; τ_T – результуюча проекції вектору зусилля на площину руху судна; α_A – кут повороту [ПП](#) відносно діаметральної площини судна

Таким чином, удосконалення стратегії за критерієм отримання максимуму альтернативної енергії та регулювання ступеню заряду батарей [СНЕ](#) (англ. *External energy maximization strategy with SOC's regulation – EEMS*) із використанням АДЕ стає перспективним підходом для підвищення ефективності СЕУ КПК в порівнянні з безліччю функцій для майбутніх розробок.

У кінцевому рахунку подальші дослідження повинні рухатися шляхом об'єднання стратегій управління з точки зору комплексного підходу. Блок-схема

одного із варіантів удосконаленої стратегії управління інтегрованою системою з гібридним [ДЕПК](#) і єдиною СЕЕС на [Рисунок 3.5](#).

У рамках вирішення задачі отримали подальший розвиток ресурсозберігаючі екологічно чисті технології експлуатації СЕУ [КПК](#) за рахунок застосування альтернативних генеруючих елементів (АГЕ) при проектуванні джерел живлення і підвищення їх швидкодії при зміні експлуатаційних режимів, що дозволило удосконалити стратегії керування гібридними СЕУ КПК з точки зору розподілу потужності між АГЕ, [СНЕ](#), судновою електроенергетичною системою (СЕЕС) та іншими складовими СЕУ відповідно до обраної стратегії управління енергоспоживанням. А саме: у стратегії із контролем за станом [СОДГ](#) (англ. *State machine control strategy – SMCS*); із *PI* управлінням та регулюванням ступеню заряду батарей (англ. *State-of-Charge – SOC*) [СНЕ](#) (англ. *Classical PI control strategy with SOC's regulation – CPICS*); із контролем частоти і стану СОДГ та регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ (англ. *Frequency decoupling and state machine control strategy with SOC's regulation – FDSMCS*); за критерієм мінімуму споживання електроенергії (англ. *Equivalent consumption minimization strategy – ECMS*); за критерієм отримання максимуму альтернативної енергії та регулюванням ступеню заряду батарей СНЕ (англ. *External energy maximization strategy with SOC's regulation – EEMS*). Вперше синтезовано трирівневу багатокритеріальну стратегію управління розподілом енергії у гібридній СЕУ КПК, шляхом поєднання класичної стратегії управління розподілом потужності зі стратегією контролю за станом СОДГ і ступенем заряду АГЕ [СНЕ](#), що дозволяє проектувати гнучкі багатофункціональні електроенергетичні системи, які інтегруються у гібридні СЕУ КПК в якості невід'ємної складової, а також проводити параметризацію пропульсивних і енергетичних характеристик СЕУ КПК в залежності від зміни експлуатаційних режимів, гідродинамічних характеристик і умов довкілля. Важливим є можливість ітераційної оптимізації параметрів СЕУ [КПК](#), що дозволяє використовувати розроблений метод як засіб інтелектуального проектування, результатом застосування якого є вдосконалені експлуатаційні характеристики СЕУ КПК. Запропонована стратегія у порівнянні з існуючими системами має вищу

швидкодію виявлення ризику знеструмлення СЕЕС, більшу надійність і точність с точки зору визначення необхідності зниження навантаження (в межах 150 мілісекунд). Нова концепція є повністю інтегрованою системою із всережимними регуляторами частоти обертання [ПП](#) і системою електроживлення.

3.7 Математичне моделювання суднового пропульсивного комплексу

При раптових змінах навантаження генераторів виникають відхилення напруги від номінальної величини на їх контактах. Зменшення напруги генераторів пов'язано зі зміною величини падіння напруги в обмотках ланцюга якоря машини і дії реакції машини, що розмагнічує, відповідно до збільшенням навантаження.

Моделювання проводимо у пакеті *MatLab* (рис. 3.8) при умові роботи чотирьох дизель-генераторів потужністю 1600 кВт кожний, включеному комплексному навантаженню $P_{\text{ход}} = 1574$ кВт, роботі двох АД ПП потужністю 500 кВт і пуску двох ГЕД потужністю 1300 кВт.

Для того, щоб створити СЕС нам необхідно 4 генератори. Їх потужність ми розраховуємо наступним чином:

$$\frac{P_y - 0.2P_y}{2} + 0.2P_y = P_{\text{ст}}, \quad (3.7)$$

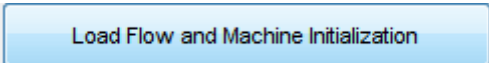
де P_y – встановлена потужність, $P_{\text{ст}}$ – загальна потужність СЕС

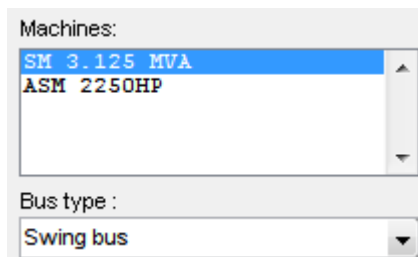
Тоді потужність 1 генератору буде дорівнювати: $\frac{P_{\text{ст}}}{4} = 1600 \text{ кВт}$

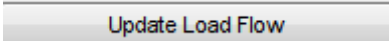
Для цього в *Matlab* відкриваємо *Simulink*, в ньому відкриваємо *Demos*, там знаходимо бібліотеку *SimPowerSystems*, відкриваємо *Demos-> Machine Models-> Emergency Diesel-Generator and Asynchronous Motor-> Open this model*

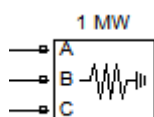
З цієї моделі нам знадобляться:

Після записуємо отриманий дані в параметри генератора і ініціалізуємо його.

Відкриваємо блок , натискаємо , вибираємо генератор, що нас цікавить и тип шини Swing Bus



, натискаємо . Генератор ініціалізовано. Клонуємо цей генератор щоб створити електростанцію з 4-х генераторів. З'єднуємо їх і підключаємо до навантаження. В якості навантаження



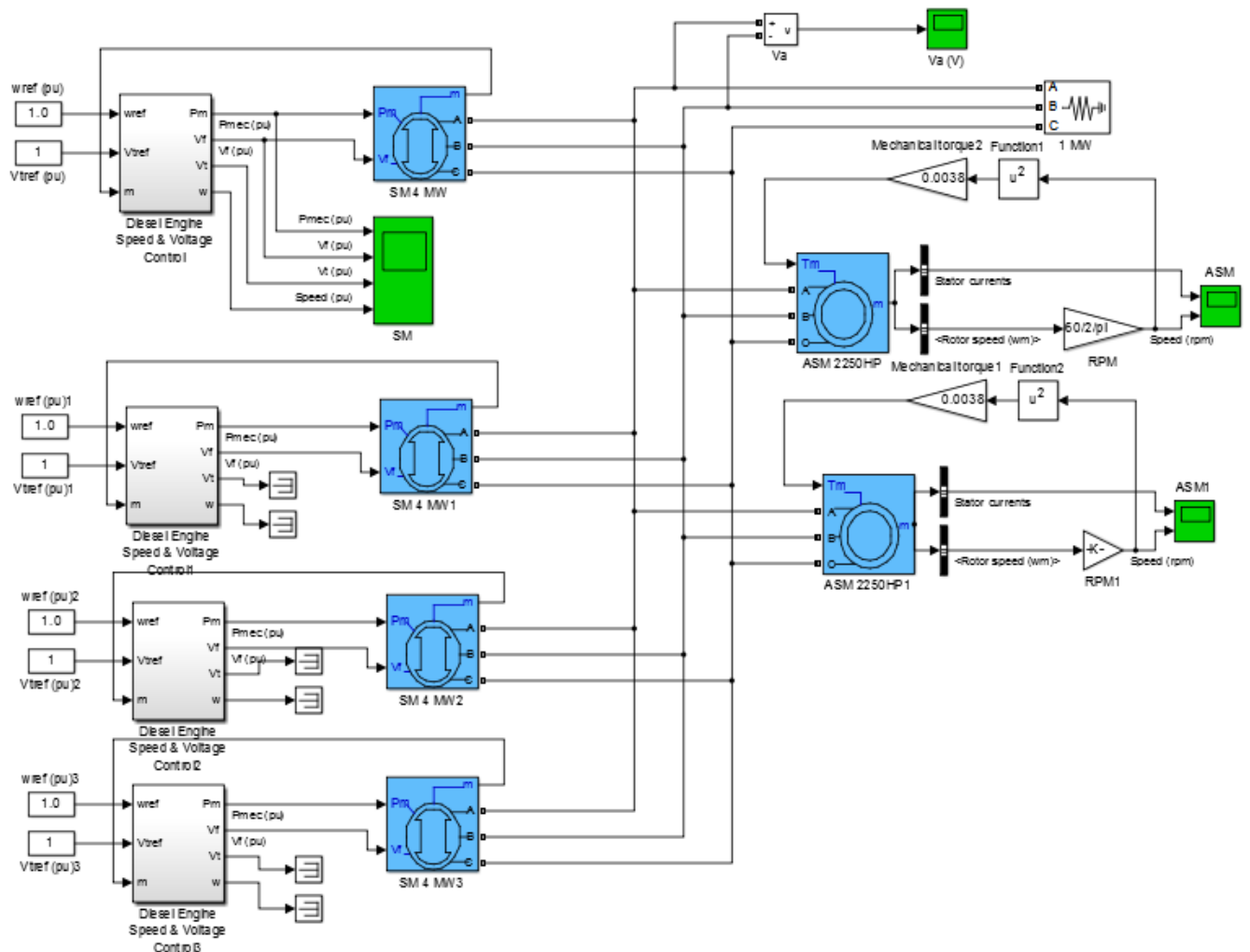
виступає блок , у якому ми приймаємо навантаження рівну 20% від заданої потужності станції, тобто $8000 \text{ кВт} * 0,2 = 160 \text{ кВт}$.

Потім необхідно ініціалізувати АД. Для цього відкриваємо файл "Розрахунок АД.xls", вносимо в нього дані зі свого завдання і отримуємо розрахунок АД. Отриманий розрахунок вписуємо в параметри двигуна. Інерція двигуна розраховується як 0,25375 за 1 кВт потужності двигуна. Тобто якщо потужність двигуна становить 500 кВт, інерція складе 231,375.

Кількість пар полюсів розраховується слід. чином: $p = \frac{60f}{n}$.

Після занесення даних в АД ініціалізуємо таким же способом, як і генератор. Другий двигун підключаємо до шин не ініціалізованим.

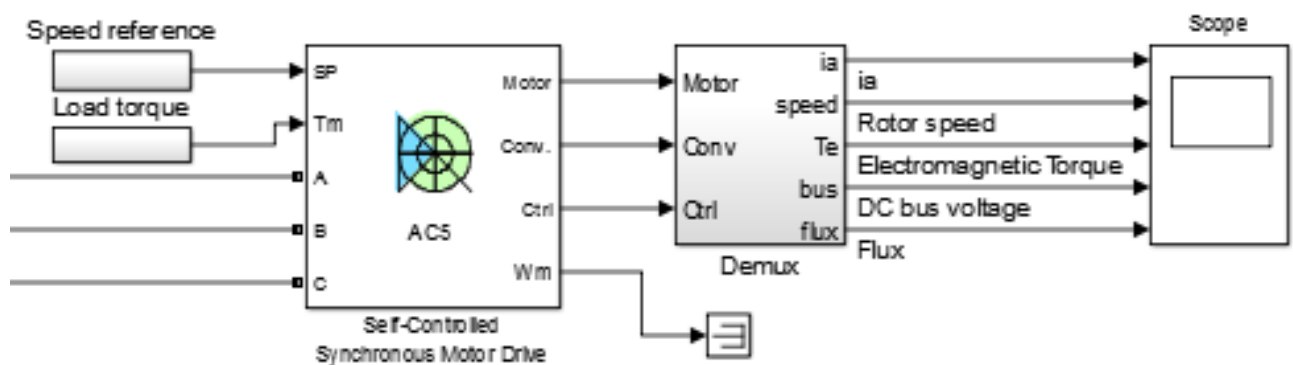
В результаті отримаємо:



Тепер у нас є СЕС і 2 підрулюючих пристроїв.

Наступним етапом буде підключення та налаштування СД. Для цього відкриваємо знову *Help-> Demos*, знаходимо *SimPowerSystems-> Demos-> Electric drive models-> AC5 - Self-Controlled Synchronous 200 HP Motor Drive*.

З цього демосу нам необхідний СД.



У блоці *Speed referens* ми повинні вказати номінальні обороти, які в підсумку будуть завданням швидкості для нашого СД і проміжок часу, протягом якого завдання буде дійсно, а потім встановиться на 0.

Time (s):
[1.5 35]
Amplitude:
[90 0]

У нашому випадку двигун через 1.5 секунди після старту отримає завдання 90 об \ хв і це завдання буде дійсно до 35 сек, після чого скинеться на 0.

- Розрахунок параметрів СД:
- Інерція і кількість пар полюсів розраховується як раніше описано для АД.

Power (VA):	Voltage (Vrms):	Frequency (Hz):	Field current (A):
12000000	11000	60	82

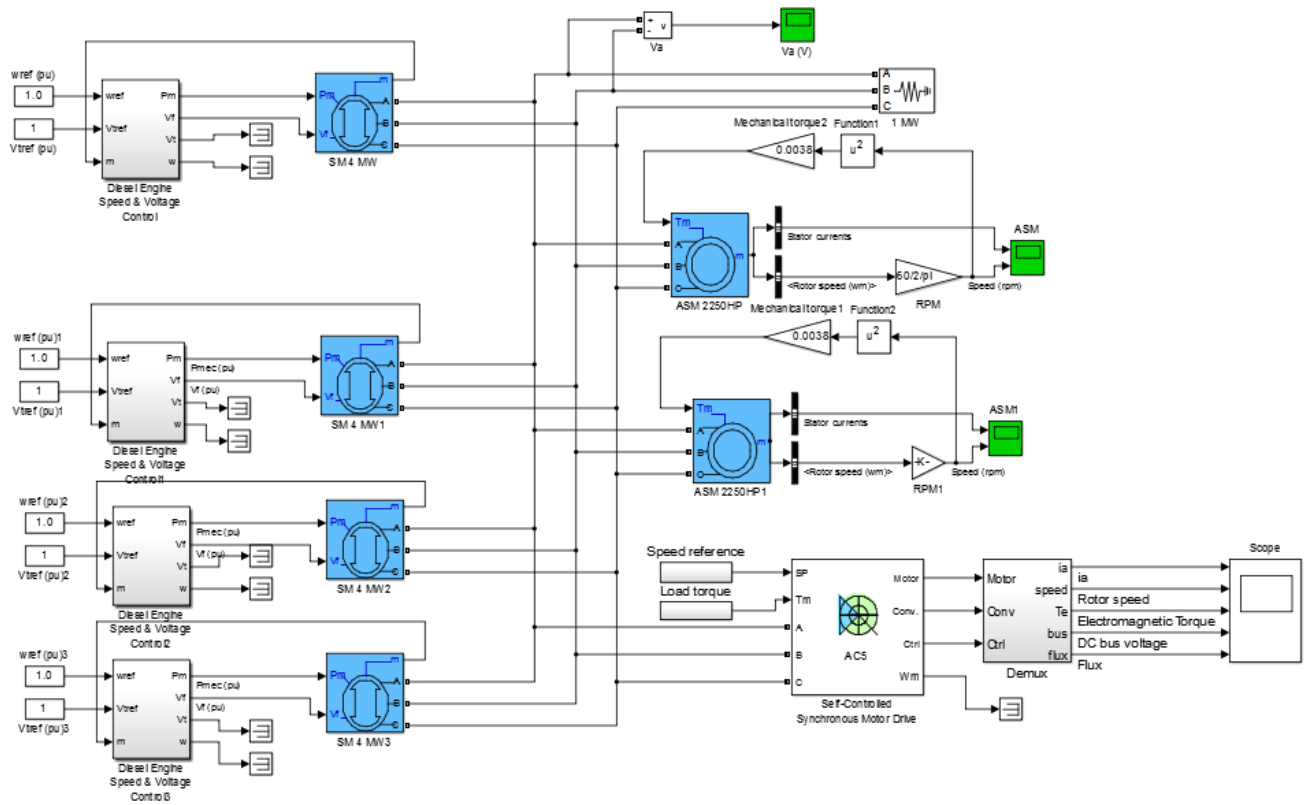
- Вписуємо дані із завдання, струм знаходимо співвідношенням: $\frac{P_{\text{двигателя}}}{149200}$.

	Resistance (ohm):	Leakage inductance (H):	Mutual inductance (H):
Stator:	2.01e-3	4.289e-4	
Field:	4.083e-4	0.429e-3	D-axis: 4.477e-3
D-axis dampers:	8.25e-3	0.685e-3	Q-axis: 1.354e-3
Q-axis dampers:	13.89e-3	1.44e-3	

- Дані параметри розраховуємо шляхом добудку їх на коефіцієнт пропорційності: $k = \frac{U_{\text{двигателя}}}{460} \div \frac{P_{\text{двигателя}}}{149200}$

Після заповнення усіх параметрів СД підключаємо на шини.

Отримаємо:



Ми маємо 4 генератора, два ПП у вигляді АД і одну пропульсивну установку у вигляді СД.

3.7.1 Визначення параметрів схеми заміщення АД

Визначаємо параметри схеми заміщення АД за паспортними даними.

Номінальне ковзання

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1200 - 1092}{1200} = 0,09, \quad (3.8)$$

де n_s – синхронна частота обертання (швидкість обертання магнітного поля статора), об/хв;

n_n – номінальна швидкість обертання валу АД, об/хв.

Критичне ковзання

$$s_k = \left(M_k / M_n + \sqrt{(M_k / M_n)^2 - 1} \right) s_n = \left(2,8 + \sqrt{2,8^2 - 1} \right) \cdot 0,09 = 0,489 \quad (3.9)$$

де M_k / M_n – відношення максимального моменту до номінального.

Конструктивний коефіцієнт

$$c_1 = 1 + \frac{L_{ls}}{L_m}. \quad (3.10)$$

Спочатку конструктивний коефіцієнт задається у межах $c_1 = 1,02 \div 1,05$. Після розрахунку індуктивностей, які входять у рівняння (3.10), необхідно порівняти отримане значення з попередньо обраним і уточнити розрахунок. Звичайно за дві, три ітерації вдається досягнути збігання прийнятого і розрахованого конструктивного коефіцієнта.

Коефіцієнт грузлого тертя

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{(2\pi n_n / 60)^2}. \quad (3.11)$$

У рівнянні (3.11) механічні втрати ΔP_m визначаються з рівняння

$$\begin{aligned} \Delta P_m &= \sqrt{3} I_n U_n \eta_n \cos \varphi_n - P_n = \\ &= \sqrt{3} \times 1320 \times 690 \times 0,92 \times 0,88 - 500000 = 14438 \text{ (Вт)}. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Опір статора

$$R_s = \frac{3(U_H/\sqrt{3})^2(1-s_H)}{2c_1(1+c_1/s_k)(M_K/M_H)(P_H+\Delta P_m)} = \quad (3.13)$$

$$= \frac{3(440/\sqrt{3})^2(1-0,09)}{2 \times 1,03(1+1,03/0,489)(2,8)(500000+14438)} = 0,012 \text{ (Ом)}.$$

Опір ротору

$$R_r = \frac{P_H + \Delta P_m}{3(1-s_H)(I_n/I_H)^2 I_H^2} = \frac{500000 + 14438}{3(1-0,09)(6,0)^2 1320^2} = 0,0048 \text{ Ом}, \quad (3.14)$$

де $I_n/I_H = 6,0$ – кратність пускового струму АД.

Індуктивність статора і ротора

$$L_s \cong L_r = \frac{U_H/\sqrt{3}}{2\pi \times f_H \times I_H \left[\sqrt{1 - (\cos \varphi_H)^2} - \cos \varphi_H (s_H/s_k) \right]} = \quad (3.15)$$

$$= \frac{440/\sqrt{3}}{2 \times 3,14 \times 60 \times 1320 \left[\sqrt{1 - (0,88)^2} - 0,88(0,09/0,489) \right]} = 0,0016 \text{ Гн}.$$

Індуктивність розсіяння статора і ротора

$$L_{ls} \cong L_{lr} = \frac{1}{4\pi \times f_H} \sqrt{\left[\frac{(U_H/\sqrt{3})}{(I_n/I_H) I_H} \right]^2 - (R_s + R_r)^2} = \quad (3.16)$$

$$= \frac{1}{4 \times 3,14 \times 60} \sqrt{\left[\frac{(440/\sqrt{3})}{(6,0) 1320} \right]^2 - (0,012 + 0,0048)^2} = 0,000036 \text{ Гн}.$$

Взаємоіндукція

$$L_m = L_s - L_{ls} = 0,0016 - 0,000036 = 0,00156 \text{ Гн}. \quad (3.17)$$

По формулі (3.10) розраховуємо конструктивний коефіцієнт

$$c_1 = 1 + \frac{0,000036}{0,0016} = 1,023 \approx 1,03.$$

3.7.2 Проведення моделювання та аналіз результатів

Для утворення квадратичної залежності моменту опору T_m на валу АД пропорційного швидкості обертання ротору, у моделі між виходом виміру оборотів АД ω_m і входом T_m необхідно включити блоки *Maht Function (Function)* і *Gain (Mechanical Torque)*, коефіцієнт передачі якого розраховується по формулі

$$K^* = \frac{M_n}{n_n^2} = \frac{9,55 \times P_n}{n_n \times n_n^2} = \frac{9,55 \times 500000}{1092 \times 1092^2} = 0,006. \quad (3.19)$$

На рисунку 3.6 показано графіки зміни струму, оборотів ротору та електромагнітного моменту АД, а на рисунку 3.7 – напруги на шинах ГРЩ.

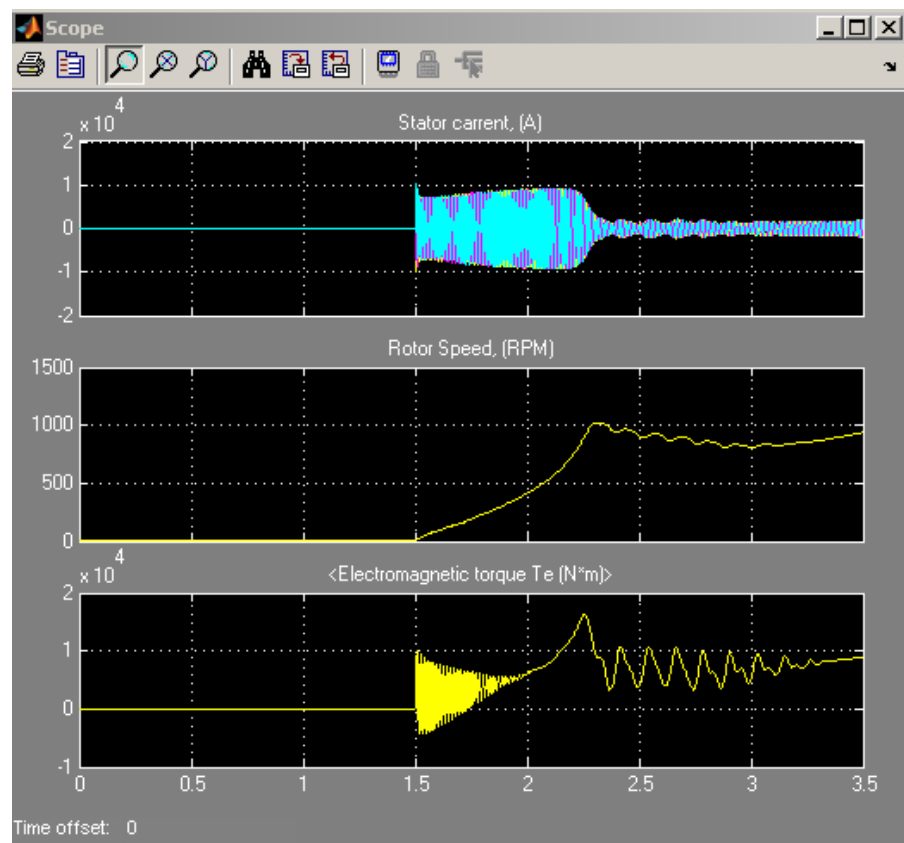


Рисунок 3.6 - Струм та обороти АД в спливанні перехідного процесу

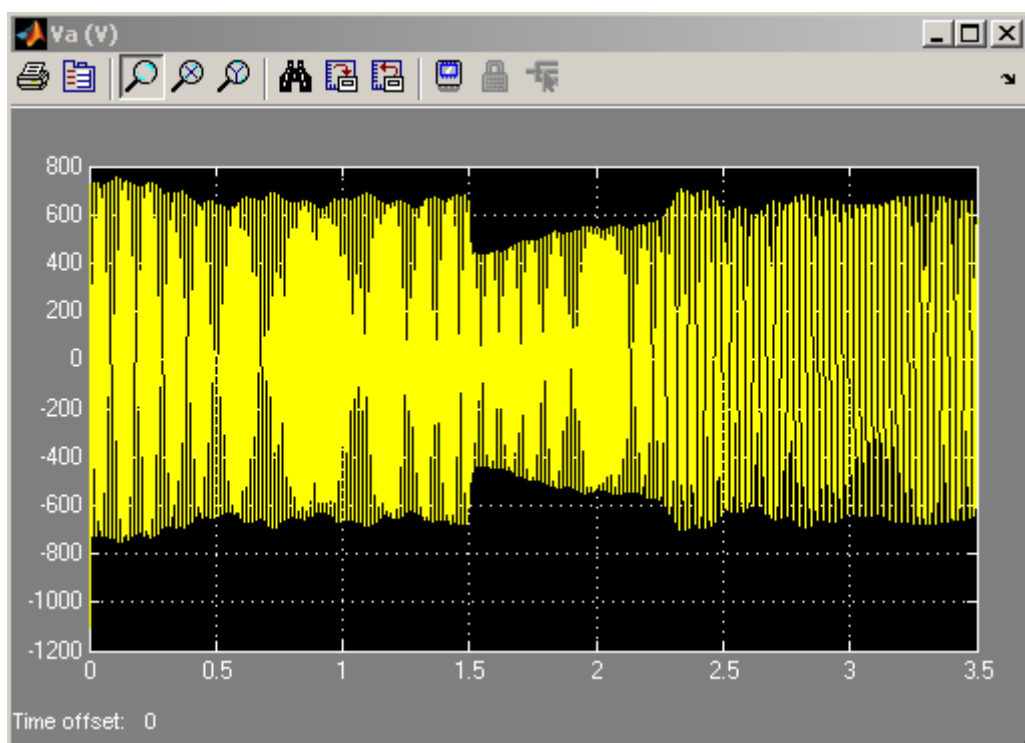


Рисунок 3.7 - Графік зміни напруги на шинах ГРЩ

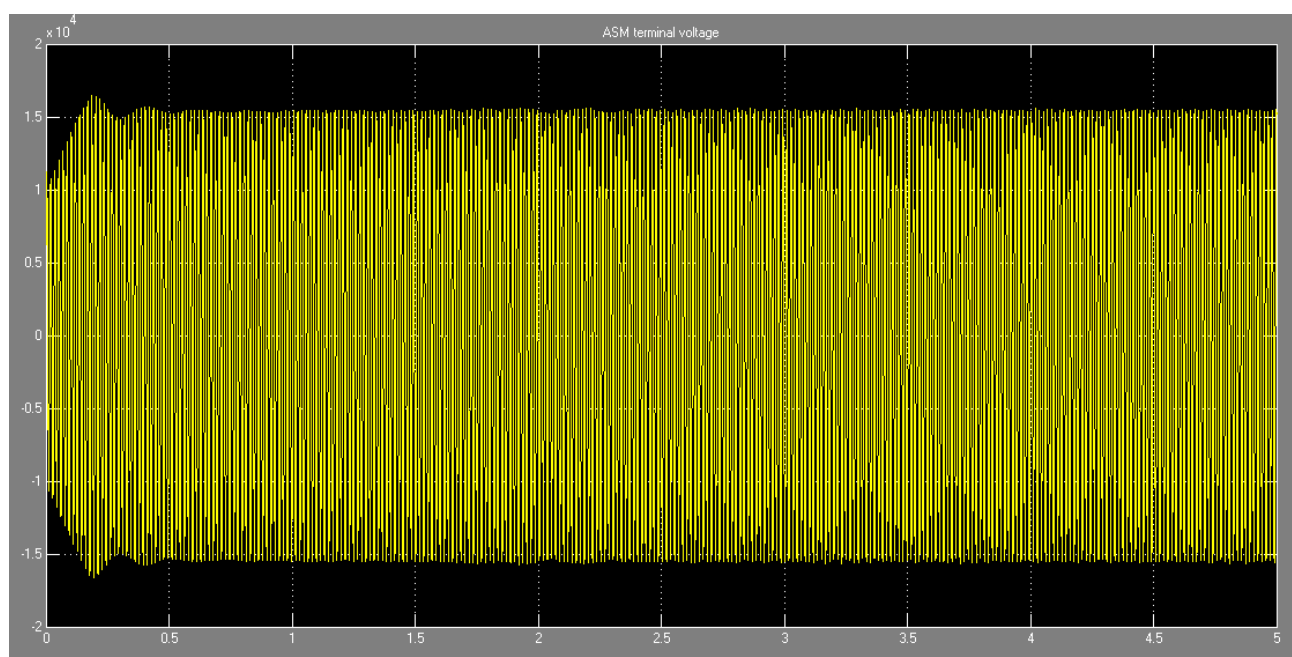


Рисунок 3.8 - Графіки роботи підрулює пристрою, залежно струму статора і швидкості ротора від часу

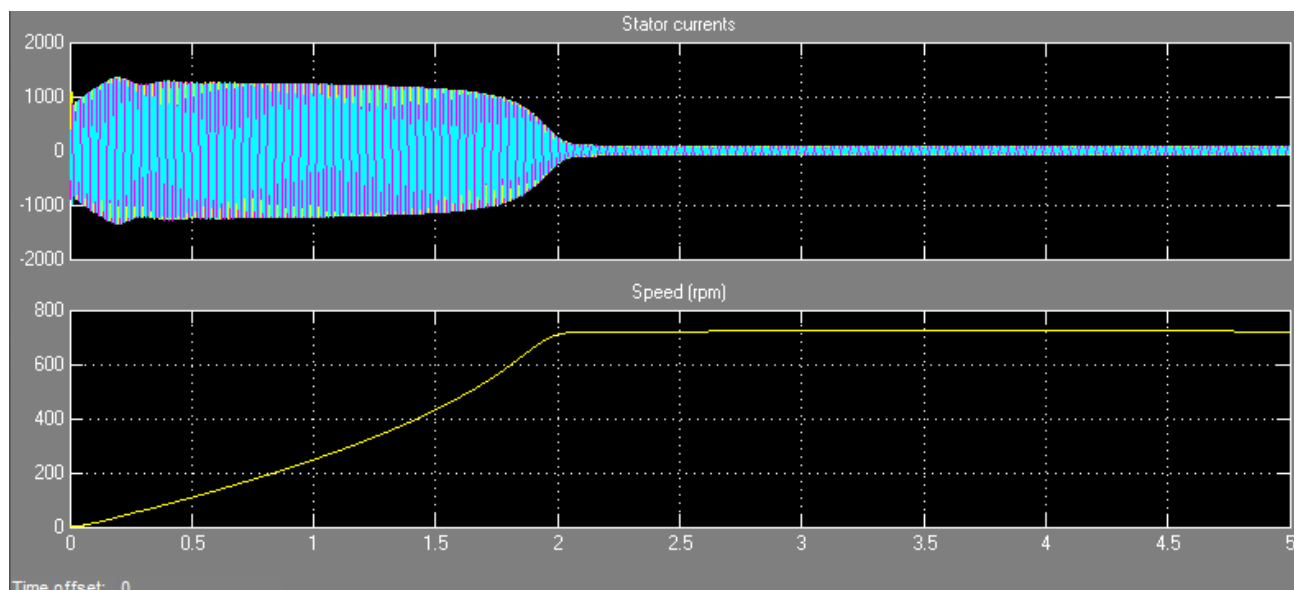


Рисунок 3.9 - Зміна напруги на шинах ГРЩ

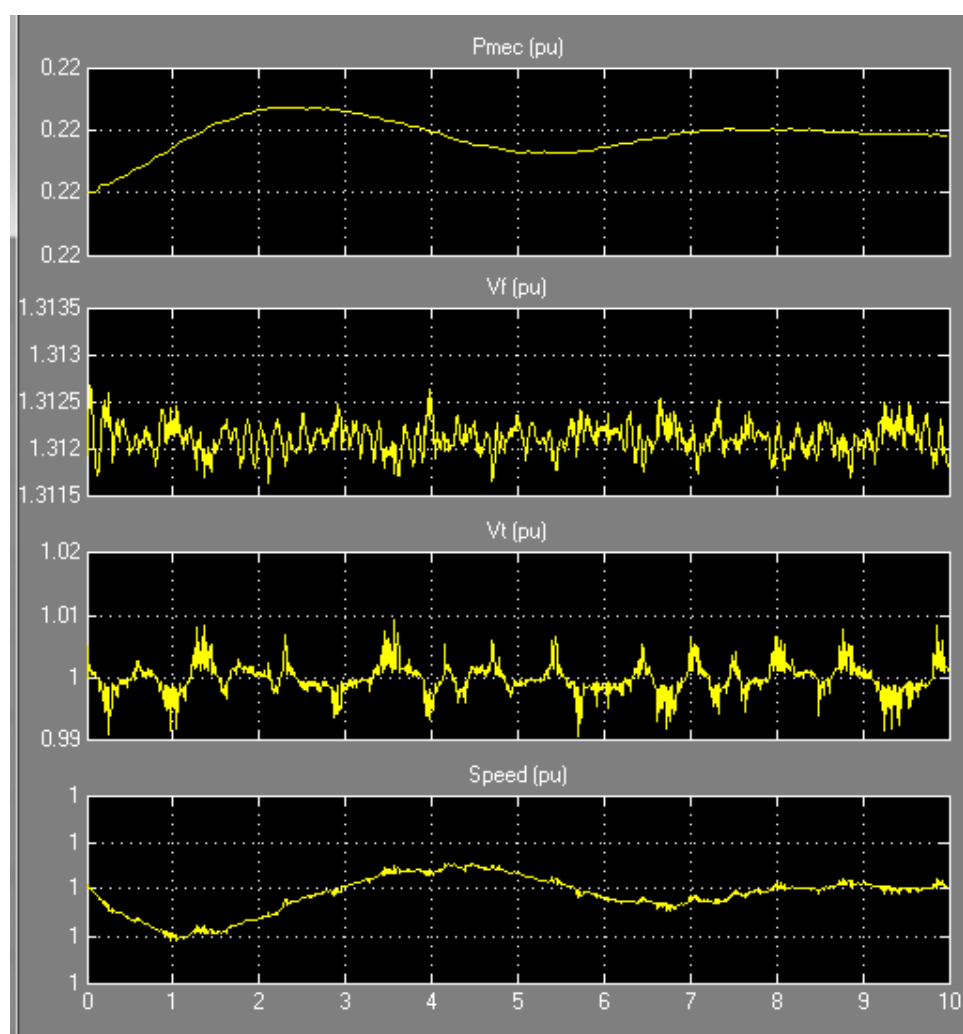
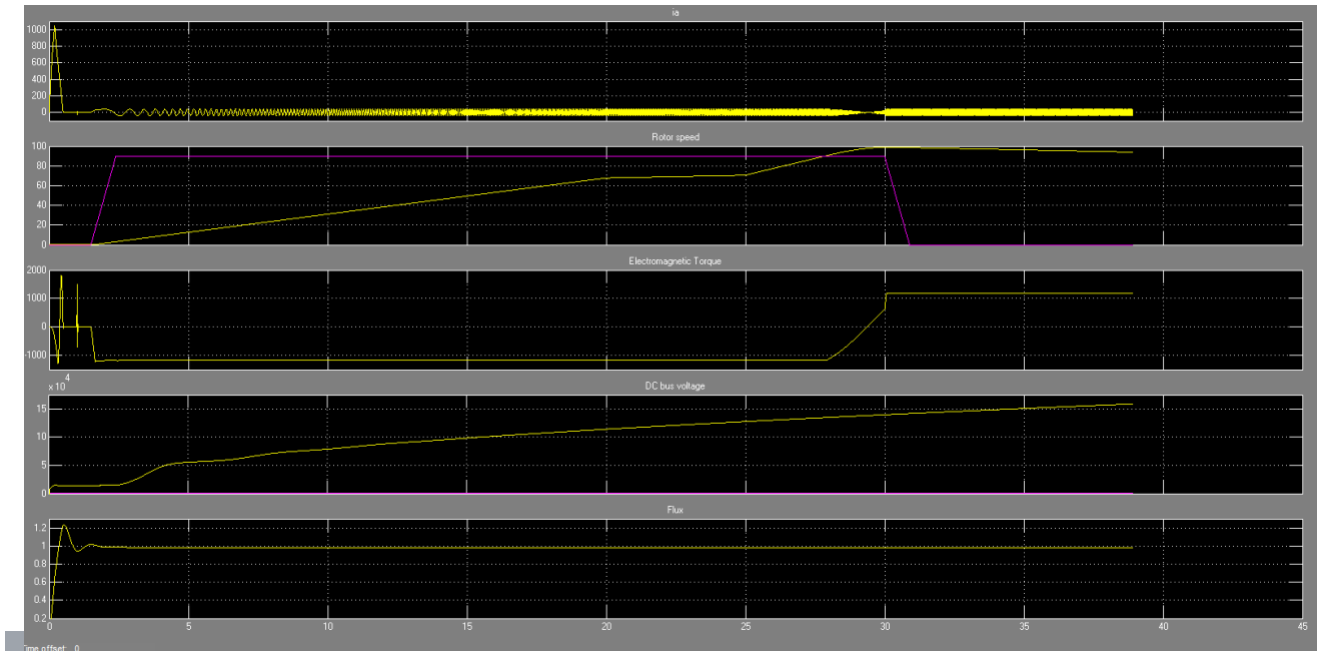


Рисунок 3.10 - Графіки роботи моделі дизелю



■ Рисунок 3.11 - Графіки роботи гребного асинхронного електродвигуна

3.8 Комп'ютерне моделювання конфігурацій ПП з урахуванням типізації технологічного процесу

На [Рисунок 3.1](#) представлено комп'ютерну модель для налаштування конфігурації ПП на прикладі КПК судна типу *Supply Vessel*.

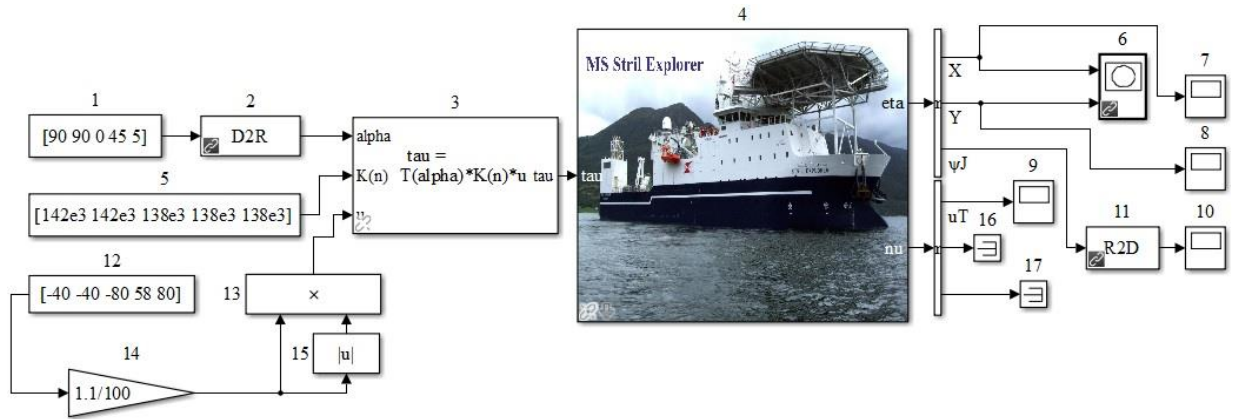


Рисунок 3.1 - Комп'ютерна модель у *MatLab Simulink* конфігурації підрулюючих пристроїв для судна типу *Supply Vessel*: 1 – завдання кута розташування азимутальних пристроїв відносно діаметральної площини судна α_A , град.; 2 – блок перетворення градусів у радіани; 3 – модель [КПК](#); 4 – модель ідентифікації параметрів судна; 5 – завдання коефіцієнту упору гвинта, K_T ; 6 – плоттер XY -координат, в.о.; 7...10 – осцилографи, що фіксують: XY -координати судна, м; значення середньозваженого упору, що прикладено до судна u_T , $H \times 10^6$; кут нищпорення судна ψ_J , град., відповідно; 11 – блок перетворення радіан у градуси; 12 – завдання крокового відношення гвинтів H_P , $-100\% \div +100\%$; 13 – функція перемноження; 14 – блок розрахунку крокового відношення $p_D = H_P / D_p$, де D_p – діаметр гвинта, м; 15 – блок розрахунку абсолютної величини; 16 – 17 – пристрої поглинання вихідних сигналів моделі судна, що не відстежуються.

Згідно методики, що описана у [42, 43] створено комп'ютерну модель ідентифікації параметрів ([Рисунок 3.1](#)) судна типу *Supply Vessel*.

Для крокових відношень $p_{Di} = H_P / D_{pi}$ величини упорів і моментів будуть визначатися вектором зусилля τ_T , що описується рівнянням:

$$\tau_T = T_{matrix} K_{Tmatrix} u_T, \quad (3.20)$$

де: – u_T – вектор змінних упорів [III](#), що прикладені до судна;

– $K_{Tmatrix}$ – матриця коефіцієнтів упору гвинтів;

– T_{matrix} – матриця конфігурації ПП.

Упори, що прикладено до судна у режимі динамічного позиціонування, внаслідок роботи ПП, визначаються вектором зусиль (упорів):

$$u_T = \left[|p_{D1} - p_{D10}|(p_{D1} - p_{D10}), |p_{D2} - p_{D20}|(p_{D2} - p_{D20}), \dots, |p_{Dk_{TR}} - p_{Dk_{TR}0}|(p_{Dk_{TR}} - p_{Dk_{TR}0}) \right]^{T_{matrix}}, \quad (3.21)$$

де p_{Di0} ($i0 = 1 \dots k_{TR}$) – крокове відношення гвинта окремого ПП, максимальна кількість яких визначається числом k_{TR} .

Коефіцієнти упорів гвинтів визначаються діагональною матрицею:

$$K_{Tmatrix} = \begin{pmatrix} K_{T1}(n_1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & K_{T2}(n_2) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & K_{Tr}(n_r) \end{pmatrix}, \quad (3.22)$$

де n_i ($i = 1 \dots r$) – частота обертання гвинта i -го ПП, об/хвил.

Сили упорів ПП, що визначаються вектором (3.20), розподіляються на продовжні, поперечні та кутові (нишпорення) складові матрицею конфігурації ПП.

Наприклад, на судні типу *Supply Vessel* встановлено чотири азимутальних ПП (два головних та два допоміжних, що розташовано між діаметральною площиною та носовою частиною і висувуються з корпусу судна), які можуть повертатися на будь-який кут α_A відносно діаметральної площини судна, та один носовий тунельний ПП. Виходячи з цього маємо наступну конфігурацію упорів, що прикладено до судна: $u_{T1,2}$ – упори головних азимутальних ПП; $u_{T3,4}$ – упори допоміжних азимутальних ПП, u_{T5} – упор носового ПП. Тоді матриця конфігурації ПП буде мати вигляд:

$$T_{matrix(0)} = \begin{pmatrix} \cos\alpha_{A1} & \cos\alpha_{A2} & \cos\alpha_{A3} & \cos\alpha_{A4} & 0 \\ \sin\alpha_{A1} & \sin\alpha_{A2} & \sin\alpha_{A3} & \sin\alpha_{A4} & 1 \\ l_{T1}\sin\alpha_{A1} & l_{T2}\sin\alpha_{A2} & l_{T3}\sin\alpha_{A3} & l_{T4}\sin\alpha_{A4} & l_{T5} \end{pmatrix}, \quad (3.23)$$

де l_{Ti} ($i = 1 \dots 5$) – плече сили, або відстань від місця прикладення упору даного ПП до проекції вектору зусилля τ_T на площину руху судна.

При чому, треба мати на увазі, що позитивним рухом судна у x -напрямку є рух вперед, у y -напрямку – праворуч, а у z -напрямку (нишпорення) – назад, тобто проти годинникової стрілки.

Для даного судна, в якості перевірки ефективності існуючої інсталяції СЕУ [КПК](#) у рамках розробленої [СППР](#), додатково, окрім основної, протестовані ще три можливих конфігурації ПП, які визначаються відповідними матрицями $T_{matrix(1)}$; $T_{matrix(2)}$; $T_{matrix(3)}$; $T_{matrix(4)}$.

Конфігурація (1):

- два головних класичних ГФК лівого та правого бортів у кормовій частині судна;
- один азимутальний ПП, що висувається з корпусу судна у носовій частині судна, який може повертатися на будь-який кут α_A відносно діаметральної площини судна, та один носовий тунельний [ПП](#);
- $u_{T1,2}$ – упори головних класичних ГФК;
- u_{T3} – упор допоміжного азимутального ПП;
- u_{T4} – упор носового ПП.

$$T_{matrix(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \cos \alpha_{A3} & 0 \\ 0 & 0 & \sin \alpha_{A3} & 1 \\ l_{T1} & -l_{T2} & l_{T3} \sin \alpha_{A3} & l_{T4} \end{pmatrix}. \quad (3.24)$$

Конфігурація (2):

- два головних класичних ГФК лівого та правого бортів у кормовій частині судна;
- два кормових тунельних ПП; один азимутальний ПП, що висувається з корпусу судна у носовій частині судна, який може повертатися на будь-який кут α_A відносно діаметральної площини судна;

- один носовий тунельний ПП;
- $u_{T1,2}$ – упори головних класичних ГФК;
- $u_{T3,4}$ – упори кормових тунельних ПП;
- u_{T5} – упор допоміжного азимутального ПП;
- u_{T6} – упор носового ПП).

$$T_{matrix(2)} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & \cos\alpha_{A5} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & \sin\alpha_{A5} & 1 \\ l_{T1} & -l_{T2} & -l_{T3} & -l_{T4} & l_{T5}\sin\alpha_{A5} & l_{T6} \end{pmatrix}. \quad (3.25)$$

Конфігурація (3):

- три азимутальних ПП (два головних лівого та правого бортів та один допоміжний, розташований між діаметральною площиною та носовою частиною і висувається з корпусу судна), які можуть повертатися на будь-який кут α_A відносно діаметральної площини судна;
- один кормовий тунельний ПП;
- один носовий тунельний ПП;
- $u_{T1,2}$ – упори головних азимутальних ПП;
- u_{T3} – упор кормового ПП;
- u_{T4} – упор допоміжного азимутального ПП;
- u_{T5} – упор носового тунельного ПП.

$$T_{matrix(3)} = \begin{pmatrix} \cos\alpha_{A1} & \cos\alpha_{A2} & 0 & \cos\alpha_{A4} & 0 \\ \sin\alpha_{A1} & \sin\alpha_{A2} & 1 & \sin\alpha_{A4} & 1 \\ l_{T1}\sin\alpha_{A1} & l_{T2}\sin\alpha_{A2} & -l_{T3} & l_{T4}\sin\alpha_{A4} & l_{T5} \end{pmatrix}. \quad (3.26)$$

Конфігурація (4):

- шість азимутальних ПП (два головних лівого та правого бортів та чотири допоміжних, що висуваються з корпусу судна;

- два розташовані у носовій частині;
- два розташовані між діаметральною площиною та носовою частиною, можуть повертатися на будь-який кут α_A відносно діаметральної площини судна;
- (u_{T1-6} – упори азимутальних ПП).

$$T_{matrix(4)} = \begin{pmatrix} \cos\alpha_{A1} & \cos\alpha_{A2} & \cos\alpha_{A3} & \cos\alpha_{A4} & \cos\alpha_{A5} & \cos\alpha_{A6} \\ \sin\alpha_{A1} & \sin\alpha_{A2} & \sin\alpha_{A3} & \sin\alpha_{A4} & \sin\alpha_{A5} & \sin\alpha_{A6} \\ l_{T1}\sin\alpha_{A1} & l_{T2}\sin\alpha_{A2} & l_{T3}\sin\alpha_{A3} & l_{T4}\sin\alpha_{A4} & l_{T5}\sin\alpha_{A5} & l_{T6}\sin\alpha_{A6} \end{pmatrix}. (3.27)$$

Для різних типів суден розроблені m -файли ідентифікаційних параметрів для подальшої імплементації у просторові моделі СЕУ з метою отримання оптимальних з точки зору мінімізації ХУ-переміщень, експлуатаційних показників СЕУ та гідродинамічних КПК.

На [Рисунок 3.2](#), [Рисунок 3.3](#) відповідно показані графіки зміни ХУ-координат та кута нищпорення ψ_L в функції часу продовж 200 с судна типу *Supply Vessel* при різних конфігураціях [ПП](#), взаємного розташування осей основних і допоміжних гребних гвинтів відносно діаметральної площини судна; значеннях крокових відношень і коефіцієнтів упорів.

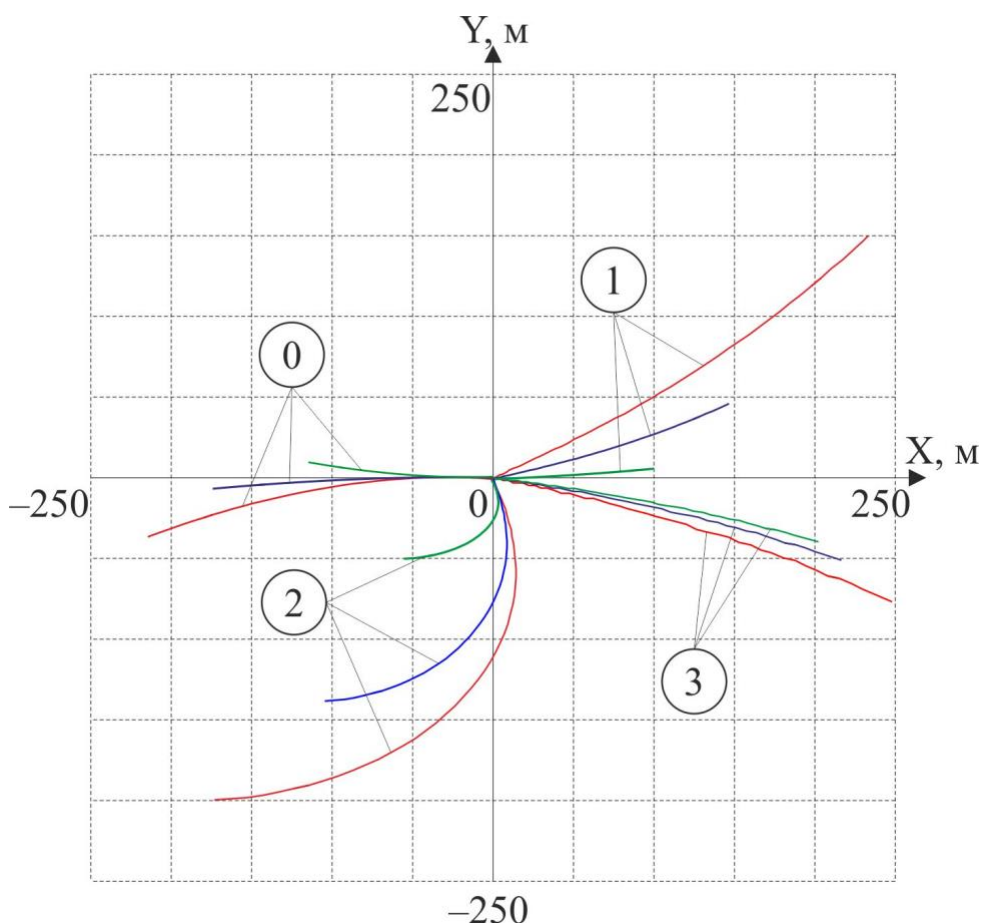


Рисунок 3.2 - Зміна координат судна типу *Supply Vessel*, довжиною 76 м, при різних конфігураціях [III](#): 0 – 3 – номери відповідних конфігурацій: — — взаємно-перпендикулярне розташування осей основних і допоміжних гребних гвинтів з незмінними значеннями крокових відношень і коефіцієнтів упорів; — — взаємно-перпендикулярне розташування осей основних і допоміжних гребних гвинтів з регульованими значеннями крокових відношень і коефіцієнтів упорів; — — оптимальне розташування осей основних і допоміжних гребних гвинтів зі значеннями крокових відношень і коефіцієнтів упорів, що відповідають критерію мінімальної зміни XY -координат судна.

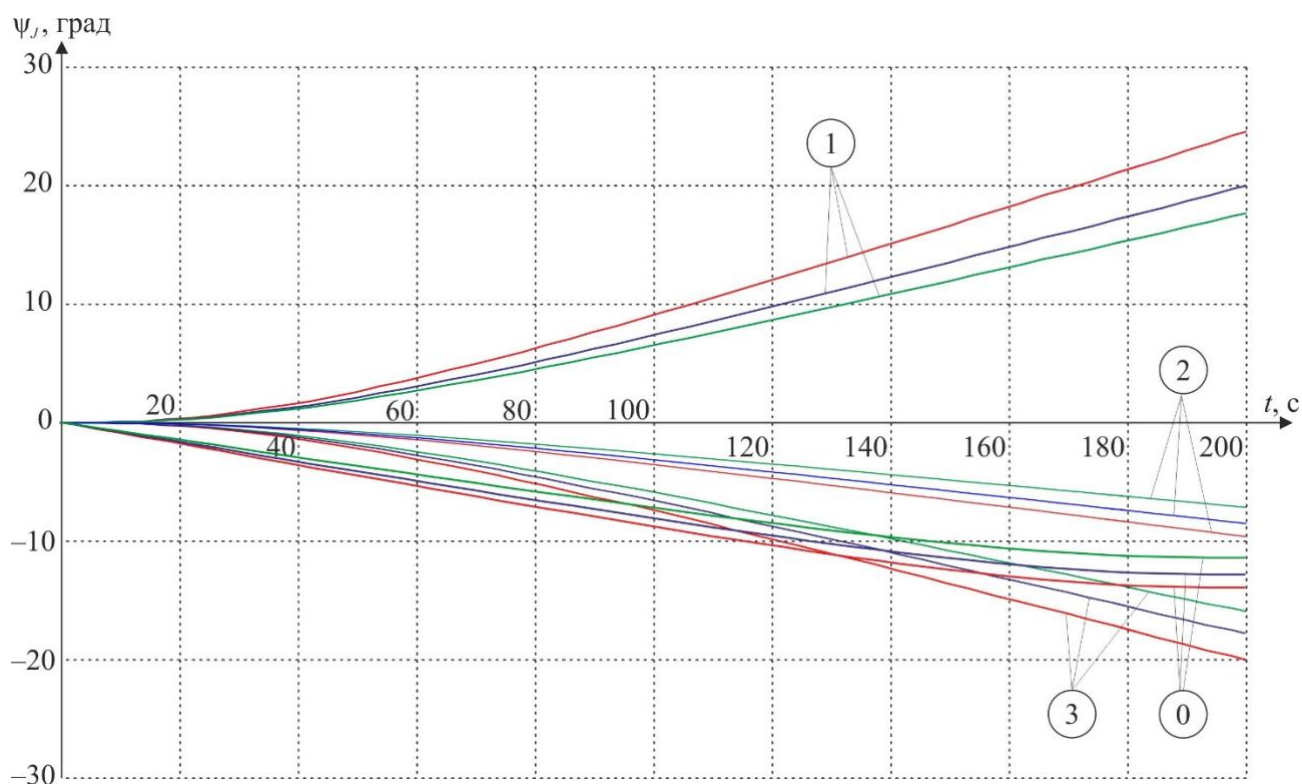


Рисунок 3.3 - Графіки залежності кута нищпорення судна типу *Supply Vessel*, довжиною 76 м, у функції часу: 0 – 3 – номери відповідних конфігурацій): — — — — — взаємно-перпендикулярне розташування осей основних і допоміжних гребних гвинтів з незмінними значеннями крокових відношень і коефіцієнтів упорів; — — — — — взаємно-перпендикулярне розташування осей основних і допоміжних гребних гвинтів з регульованими значеннями крокових відношень і коефіцієнтів упорів; — — — — — оптимальне розташування осей основних і допоміжних гребних гвинтів зі значеннями крокових відношень і коефіцієнтів упорів, що відповідають критерію мінімальної зміни XU -координат судна.

Аналізуючи графіки на [Рисунок 3.2](#), [Рисунок 3.3](#) можна зробити висновок, що оптимальною з точки зору мінімуму зсуву судна у XU -площині є конфігурація [III](#) №2, яка визначається матрицею (3.27).

ВИСНОВКИ

У роботі запропоновано вирішення проблеми, що полягає у розробці та вдосконаленні теорії та методології у галузі технічної експлуатації суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів і наданні практичних рекомендацій з підвищення ефективності їх функціонування.

За результатами зроблено такі висновки і пропозиції:

– ресурсозберігаючі технології експлуатації СЕУ [КПК](#) розвиваються шляхом застосування альтернативних генеруючих елементів при проектуванні джерел живлення і підвищення їх швидкодії при зміні експлуатаційних режимів, що дозволяє удосконалювати стратегії керування гібридними СЕУ КПК з точки зору розподілу потужності між судною електроенергетичною системою (СЕЕС) та іншими складовими СЕУ відповідно до обраної стратегії управління енергоспоживанням;

– розробку математичних моделей різних систем управління СЕУ КПК суден необхідно проводити на підставі структурної декомпозиції енергетичних процесів на перетинах енергетичного потоку від джерел живлення до рушіїв, а відповідна ефективність процесів позиціонування для різних способів і схем управління може бути оцінена за допомогою створення віртуальних моделей СЕУ КПК в *MatLab/Simulink* із наступною верифікацією результатів реальними характеристиками ходових випробувань різних типів ПП;

– ефективна стабілізація напруги СОДГ СЕУ КПК можлива за умови застосування стратегій управління перерозподілом потужності за технологією *Open System* із можливістю реорганізовуватися, перенастроюватися та інтегруватися у технологічні процеси управління енергетичною системою судна з перспективою на завершення у формі універсальної структури;

– можливість ітераційної оптимізації параметрів СЕУ [КПК](#) дозволяє використовувати розроблені методи як засіб інтелектуального проектування, результатом застосування якого є вдосконалені експлуатаційні характеристики СЕУ КПК;

– співвідношення коефіцієнтів упорів ПП КПК краще корелюються до коефіцієнтів потужності ніж до крокових коефіцієнтів гвинтів, що дає підстави вважати про підвищення енергетичної ефективності СЕУ [КПК](#) в експлуатаційних режимах та дає можливість додавати отримані результати у базу даних інших подібних [СППР](#) для забезпечення розробників і дослідників необхідною інформацією для створення нових концепцій СЕУ КПК або для модифікації існуючих;

– визначення величин упорів, що прикладено до судна, та формування матриці конфігурації ПП із встановленням відстані від місця прикладення упору окремого ПП до проекції вектору зусилля τ_T на площину руху судна можливо на підставі вивчення внутрішніх властивостей компонентів СЕУ КПК, що працює у режимі динамічного позиціонування, із визначенням відповідних ідентифікаційних чинників.

Список літератури

1. Benetazzo F, Ippoliti G, Longhi S, Raspa P. Mint: Advanced control for fault-tolerant dynamic positioning of an offshore supply vessel. *Ocean Engineering*. 2015;106:472-484. Doi:10.1016/j.oceaneng.2015.07.001.
2. Chen H, Moan T, Verhoeven H. Mint: Effect of DGPS failures on dynamic positioning of mobile drilling units in the North Sea. *Accident Analysis & Prevention*. 2009;41(6):1164-1171. Doi:10.1016/j.aap.2008.06.010.
3. Du J, Hu X, Krstić M, Sun Y. Mint: Robust dynamic positioning of ships with disturbances under input saturation. *Automatica*. 2016;73:207-214. Doi:10.1016/j.automatica.2016.06.020.
4. Guo X, Lu H, Yang J, Peng T. Mint: Resonant water motions within a recessing type moonpool in a drilling vessel. *Ocean Engineering*. 2017;129:228-239. Doi:10.1016/j.oceaneng.2016.11.030.
5. Kim YS, Kim J, Sung HG. Mint: Weather-optimal control of a dynamic positioning vessel using back stepping: simulation and model experiment. *IFAC–PapersOnLine*. 2016;49(23):232-238. Doi:10.1016/j.ifacol.2016.10.348.
6. Xu S, Wang X, Wang L, Meng S, Li B. Mint: A thrust sensitivity analysis based on a synthesized positioning capability criterion in DPCap/DynCap analysis for marine vessels. *Ocean Engineering*. 2015;108:164-172. Doi:10.1016/j.oceaneng.2015.08.001.
7. Kiran DR. Failure Modes and Effects Analysis. In: *Total Quality Management*. Butterworth: Heinemann; 2017. p. 373-389. Doi:10.1016/B978-0-12-811035-5.00026-X.
8. Kritzinger D. Failure Modes and Effects Analysis. In: *Aircraft System Safety*. Woodhead Publishing; 2017. p. 101-132. Doi:10.1016/B978-0-08-100889-8.00005-2.
9. Indragandhi V, Subramaniaswamy V, Logesh R. Mint: Resources, configurations, and soft computing techniques for power management and control of PV/wind hybrid system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;69:129-143. Doi:10.1016/j.rser.2016.11.209.
10. Zhang S, Xiong R, Sun F. Mint: Model predictive control for power management in a plug-in hybrid electric vehicle with a hybrid Energy Storage System. *Applied Energy*. 2017;185 (2):1654-1662. Doi:10.1016/j.apenergy.2015.12.035.
11. Lashway CR, Elsayed AT, Mohammed OA. Mint: Hybrid energy storage management in ship power systems with multiple pulsed loads. *Electric Power Systems Research*. 2016;141:50-62. Doi:10.1016/j.eipsr.2016.06.031.

12. McCamish B, Meier R, Landford J, Bass RB, Chiu D, Cotilla-Sanchez E. Mint: A backend framework for the efficient management of power system measurements. *Electric Power Systems Research*. 2016;140:797-805. Doi:10.1016/j.epsr.2016.05.003.
13. Rozali NEM, Alwi SRW, Manan ZA, Klemeš JJ. Mint: Process Integration for Hybrid Power System supply planning and demand management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;66:834-842. Doi:10.1016/j.rser.2016.08.045.
14. Dedes EK, Hudson DA, Turnock SR. Mint: Investigation of Diesel Hybrid systems for fuel oil reduction in slow speed ocean going ships. *Energy*. 2016;0114:444-456. Doi:10.1016/j.energy.2016.07.121.
15. Ling-Chin J, Roskilly AP. Mint: Investigating the implications of a new-build hybrid power system for Roll-on/Roll-off cargo ships from a sustainability perspective – A life cycle assessment case study. *Applied Energy*. 2016;181:416-434. Doi:10.1016/j.apenergy.2016.08.065.
16. Ortolani F, Mauro S, Dubbioso G. Mint: Investigation of the radial bearing force developed during ship operations. Part 2: Unsteady maneuvers. *Ocean Engineering*. 2015;106:424-445. Doi: 10.1016/j.oceaneng.2015.06.058.
17. Akyuz E. Mint: A marine accident analyzing model to evaluate potential operational causes in cargo ships. *Safety Science*. 2017;92:17-25. Doi:10.1016/j.ssci.2016.09.010.
18. Bentin M, Zastrau D, Schlaak M, Freye D, Elsner R, Kotzur S. Mint: A New Routing Optimization Tool-influence of Wind and Waves on Fuel Consumption of Ships with and without Wind Assisted Ship Propulsion Systems. *Transportation Research Procedia*. 2016;14:153-162. Doi:10.1016/j.trpro.2016.05.051.
19. Maragkogianni A, Papaefthimiou S. Mint: Evaluating the social cost of cruise ships air emissions in major ports of Greece. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2015;36:10-17. Doi:10.1016/j.trd.2015.02.014.
20. Scherer T, Cohen J. Mint: The Evolution of Machinery Control Systems Support At the Naval Ship Systems Engineering Station. *Naval engineers journal*. – American Society of Naval Engineers. 2011;2:85-109. Doi:10.1111/j.1559-3584.2011.00321.x.
21. Shih NC, Weng BJ, Lee JY, Hsiao YC. Mint: Development of a 20 kW generic hybrid fuel cell power system for small ships and underwater vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2014;39(25):13894-13901. Doi:10.1016/j.ijhydene.2014.01.113.
22. Ovrum E, Bergh TF. Mint: Modelling lithium-ion battery hybrid ship crane operation. *Applied Energy*. 2015;152:162–172. Doi:[10.1016/j.apenergy.2015.01.066](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.066).

23. Diab F, Lan H, Ali S. Mint: Novel comparison study between the hybrid renewable energy systems on land and on ship. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;63:452–463. Doi: [10.1016/j.rser.2016.05.053](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.053).
24. Li CZ. Mint: Fundamentals of renewable energy processes, 2nd ed. *Process Safety and Environmental Protection*. 2006;84(6):476–483. Doi: [10.1205/psep.br.0606](https://doi.org/10.1205/psep.br.0606).
25. Zhao J, Rao Z, Li Y. Mint: Thermal performance of mini-channel liquid cooled cylinder based battery thermal management for cylindrical lithium-ion power battery. *Energy Conversion and Management*. 2015;103:157–165. Doi: [10.1016/j.enconman.2015.06.056](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.056).
26. Ordoñez J, Gago EJ, Girard A. Mint: Processes and technologies for the recycling and recovery of spent [Lithium-ion batteries](#). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;60:195–205. Doi: [10.1016/j.rser.2015.12.363](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.363).
27. Wang Q, Jiang B, Li B, Yan Y. Mint: A critical review of thermal management models and solutions of [Lithium-ion batteries](#) for the development of pure electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;64:106–128. Doi: [10.1016/j.rser.2016.05.033](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.033).
28. Zhou Y, Huang M, Chen Y, Tao Y. Mint: A novel health indicator for on-line [Lithium-ion batteries](#) remaining useful life prediction. *Journal of Power Sources*. 2016;321:1–10. Doi: [10.1016/j.jpowsour.2016.04.119](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2016.04.119).
29. Delucchi MA, Jacobson MZ. Mint: Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies. *Energy Policy*. 2011;39(3):1170–1190. Doi: [10.1016/j.enpol.2010.11.045](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.045).
30. Hassan SR, Zakaria M, Arshad MR, Aziz ZA. Mint: Evaluation of Propulsion System Used in URRG-Autonomous Surface Vessel (ASV). *Procedia Engineering*. 2012;41:607–613. Doi: [10.1016/j.proeng.2012.07.219](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.219).
31. Ordoñez J, Gago EJ, Girard A. Mint: Processes and technologies for the recycling and recovery of spent [Lithium-ion batteries](#). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;60:195–205. Doi: [10.1016/j.rser.2015.12.363](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.363).
32. Hussein AA, Fardoun AA. Mint: Design considerations and performance evaluation of outdoor PV battery chargers. *Renewable Energy*. 2015;82: 85–91. Doi: [10.1016/j.renene.2014.08.063](https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.063).
33. Ketsingsoi S, Kumsuwan Y. Mint: An Off-line Battery Charger based on Buck-boost Power Factor Correction Converter for Plug-in Electric Vehicles. *Energy Procedia*. 2014;56:659–666. Doi: [10.1016/j.egypro.2014.07.205](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.205).
34. Jaguemont J, Boulon L, Dubé Y. Mint: A comprehensive review of [Lithium-ion batteries](#) used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures. *Applied Energy*. 2016;164:99–114. Doi: [10.1016/j.apenergy.2015.11.034](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.034).

35. Vetter M, Lux S. Mint: Chapter 11 – Rechargeable Batteries with Special Reference to Lithium–Ion Batteries. *Storing Energy*. 2016: 205–225. Doi: [10.1016/B978-0-12-803440-8.00011-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803440-8.00011-7).
36. Yang N, Zhang X, Shang B, Li G. Mint: Unbalanced discharging and aging due to temperature differences among the cells in a lithium-ion battery pack with parallel combination. *Journal of Power Sources*. 2016;306:733–741. Doi: [10.1016/j.jpowsour.2015.12.079](https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.12.079).
37. Budashko VV. Mint: Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex. *Electrical engineering & electromechanics*. 2017;2:62–72. Doi: [10.20998/2074-272X.2017.2.10](https://doi.org/10.20998/2074-272X.2017.2.10).
38. Budashko VV, Onishchenko OA, Ungarov DV. Mint: Modernization of hybrid electric-power system for combined propulsion complexes. *Electrotechnic and computer systems*. 2016;23(99):17–22. Doi: [10.15276/eltecs.23.99.2016.02](https://doi.org/10.15276/eltecs.23.99.2016.02).
39. Budashko VV. DMI–Models in Modeling of Power Condition in PWM–Propulsion. In: *Proceedings of 2nd International Conference on Inductive modeling (ICIM 2008)*. – Kyiv, Ukraine: Укр. IHTEI; 2008, p. 279–280. Available from: <http://www.mgua.irtc.org.ua/attach/ICIM-IWIM/2008/3.5.2%20.pdf>. [Accessed: 2018-09-16].
40. Budashko VV, Glazeva OV, Samonov SF. Mint: Conceptualization of research of power hybrid electric power complexes. *Technology audit and production reserves*. 2016;5-1(31):63–73. Doi: [10.15587/2312-8372.2016.81407](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.81407).
41. Budashko V. Mint: Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017;3-7(87):40–49. Doi: [10.15587/1729-4061.2017.101298](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101298).
42. Budashko VV. Mint: Increasing control's efficiency for the ship's two-mass electric drive. *Electrical engineering & electromechanics*. 2016;4:34 – 42. Doi: [10.20998/2074-272X.2016.4.05](https://doi.org/10.20998/2074-272X.2016.4.05).
43. Budashko V, Golikov V. Mint: Theoretical-applied aspects of the composition of regression models for combined propulsion complexes based on data of experimental research. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017;4-3(88):11–20. Doi: [10.15587/1729-4061.2017.107244](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107244).
44. Budashko VV, Nikolskyi VV, Onishchenko OA, Khniunin SN. Physical model of degradation effect by interaction azimuthal flow with hull of ship. In: *Proceeding Book of International conference on engine room simulators (ICERS12)*. – Istanbul, Istanbul Technical University, Maritime Faculty, 2015. p. 49–53. ISBN: 978-605-01-0782-1. Available from: <http://www.maritime.itu.edu.tr/icers12/program.htm>. [Accessed: 2018-09-16].
45. Nikolskyi V, Budashko V, Khniunin S. The monitoring system of the [Coanda effect](#) for the tension-leg platform's In: *Proceeding Book of International*

- conference on engine room simulators (ICERS12). – Istanbul, Istanbul Technical University, Maritime Faculty, 2015. p. 45–49. ISBN: 978-605-01-0782-1. Available from: <http://www.maritime.itu.edu.tr/icers12/program.htm>. [Accessed: 2018-09-16].
46. Budashko V, Nikolskyi V, Onishchenko O, Khniunin S. Mint: Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes. Eastern–European Journal of Enterprise Technologies. 2016;3-8(81):10-21. Doi:[10.15587/1729-4061.2016.72543](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72543).
 47. Регистр СССР. Правила классификации и постройки морских судов. – М.: Транспорт, 1985. – 780 с.
 48. Справочник судового электротехника, 1,2 том /под редакцией Китаенко Г.И./ – Л.: Судостроение, 1980.
 49. Справочник "Судовые электроприводы", 1,2 том /под редакцией Богословского А.П./ –Л.: Судостроение, 1983.
 50. Сиверс П.Л. Судовые электроприводы. – М.: Транспорт, 1975. – 456 С.
 51. Браславский Н.Я., Вурлаков А.А., Зозев А.И. и др. Асинхронные электроприводы с тиристорными преобразователями напряжения. – Л.: Судостроение, 1980 – 267 с.
 52. Barend Thijssen. The propulsion of ultra large container vessels // Marine news. Wärtsilä, 2000. № 2. p. 20–23.
 53. Болнокин В.Е., Чинаев П.И. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1986. – 248 с.
 54. SeaCompanion for Marine Professionals with a full range of marine web services. WWW. Seacompanion. com.

Додаток А

А.1 Технічні характеристики електричних двигунів



TECHNICAL DATA / LOW VOLTAGE 690V

Rated output		Motor type	Rated speed		Performances at rated outputs				D.O.L. Starting		Breakdown torque	Sound pressure level	Moment of inertia	Weight approx.
					Torque	50Hz Current	Efficiency	Power factor	Current	Torque				
50Hz	60Hz		50Hz	60Hz	Tn	In	η	cosφ	Is/In	Ts/Tn	Tmax/Tn	LpA	J	
kW	kW	min ⁻¹	min ⁻¹		Nm	A	%	-	p.u.	p.u.	p.u.	dB(A)	kgm ²	kg

4 poles

330	400	B4J	355 LA4	1484	1784	2123	327	96,0	0,88	5,5	0,9	2,4	69	6,2	1600
400	480		355 LB4	1486	1786	2570	395	96,3	0,88	6,2	1,0	2,6	69	7,4	1770
450	540		355 LC4	1486	1786	2892	444	96,4	0,88	6,0	1,0	2,5	69	8,4	1950
500	600		355 LD4	1486	1786	3213	487	96,6	0,89	6,0	1,0	2,4	69	9,5	2100
550	660		355 LF4	1487	1787	3532	535	96,7	0,89	6,2	1,0	2,4	69	10,6	2200
600	720	B4J	400 LA4	1486	1786	3856	604	96,7	0,86	5,3	0,8	2,1	71	14	2700
700	830		400 LB4	1486	1786	4498	695	96,8	0,87	5,4	0,9	2,2	71	17	2950
770	920		400 LC4	1486	1786	4948	773	96,9	0,86	5,5	0,9	2,1	71	19	3150
980	1150	B5J	450 LA4	1491	1791	6277	957	97,4	0,88	5,7	0,7	2,4	72	30	4040
1050	1250		450 LB4	1492	1792	6720	1014	97,4	0,89	6,0	0,8	2,5	72	33	4325
1180	1400		450 LC4	1492	1792	7552	1137	97,6	0,89	6,1	0,8	2,5	72	37	4680
1400	1600	B5J	500 LA4	1493	1793	8954	1363	97,7	0,88	5,3	0,6	2,1	78	49	5730
1560	1800		500 LB4	1493	1793	9978	1517	97,8	0,88	5,3	0,6	2,1	78	55	6180
1750	2000		500 LC4	1494	1794	11186	1681	97,9	0,89	5,8	0,6	2,3	78	62	6700

6 poles

230	280	B4J	355 LA6	990	1190	2219	243	95,4	0,83	5,1	0,9	2,2	66	11	1600
300	350		355 LB6	991	1191	2891	316	95,7	0,83	5,7	1,0	2,4	66	14	1820
380	450		355 LC6	992	1192	3658	394	96,1	0,84	5,8	1,0	2,4	66	18	2150
450	530	B4J	400 LA6	994	1194	4323	477	96,3	0,82	5,8	0,9	2,4	68	21	2670
530	630		400 LC6	994	1194	5092	546	96,7	0,84	5,8	0,9	2,4	68	27	3150
610	735		400 LD6	994	1194	5860	628	96,8	0,84	5,6	0,8	2,2	68	29	3250
760	900	B5J	450 LA6	994	1194	7301	771	97,0	0,85	5,5	0,8	2,3	70	41	4000
850	1000		450 LB6	994	1194	8166	862	97,1	0,85	5,3	0,8	2,2	70	46	4300
930	1100		450 LC6	994	1194	8934	942	97,2	0,85	5,2	0,8	2,2	70	52	4650
1130	1300	B5J	500 LA6	995	1195	10388	1143	97,3	0,85	5,7	0,7	2,3	73	71	5620
1300	1500		500 LB6	995	1195	11987	1297	97,5	0,86	5,3	0,7	2,1	73	82	6230
1570	1800		500 LC6	995	1195	14384	1567	97,5	0,86	5,6	0,7	2,2	73	97	6850

Is: Starting Current; Ts: Starting Torque.

STANDARD CONFIGURATION AND OPTIONS

Degree of Protection	355	400	450	500
IP 55	S	S	S	S
IP 56	O	O	O	O
Insulation				
Class F	S	S	S	S
Class H	O	O	O	O
Protective Treatments				
Epoxy-vinyl paint	S	S	S	S
Epoxy-vinyl + polyacrylic	O	O	O	O
Tropicalisation	S	S	S	S
Vibration Grade				
R	S	S	S	S
S	O	O	O	O
Bearings				
Ball bearings	S	S	S	S
D-end roller bearing	O	O	O	O
Sleeve bearings	O	O	O	O
Regreasing device	S	S	S	S
Arrangement for SPM	S	S	S	S
PT100	O	O	O	O
Drainage Hole	S	S	S	S
Space Heaters	O (300W) (A)	O (400W) (A)	O (600W) (A)	O (800W) (A)
Windings Protections				
PTC (one series of 3 PTC in windings)	S (A)	S (A)	S (A)	S (A)
PTC (two series of 3 PTC in windings)	O (A)	O (A)	O (A)	O (A)
PT100 (one series of 3 PT100 in windings)	O (A)	O (A)	O (A)	O (A)
PT100 (two series of 3 PT100 in windings)	O (A)	O (A)	O (A)	O (A)
Water leakage sensor	S (A)	S (A)	S (A)	S (A)
Inverter Supply				
Insulated bearing	O	O	O	O
Enhanced insulation for use with filter	O	O	O	O
Enhanced insulation for use without filter	O	O	O	O
Encoder	O	O	O	O
Second Shaft Extension	O	O	O	O
Double Speed	O	O	O	O

S: Standard configuration O: Option A: Terminal box

A.2 Технічні характеристики СГ

MARINE APPLICATION / LOW VOLTAGE

Type	Lead	kVA rating @ temperature rise / Ambient temp			Efficiency 95 / 50 pf = 0,8 4/4 [%]	kVA rating @ temperature rise / Ambient temp			Efficiency 95 / 50 pf = 0,8 4/4 [%]	Inertia B3 Approx [kgm²]	Weight Approx [kg]
		Continuous duty				Continuous duty					
		95 / 50 ΔTcl.F	70 / 50 ΔTcl.B	Air to water exchange 95 / 50 ΔTcl.F		95 / 50 ΔTcl.F	70 / 50 ΔTcl.B	Air to water exchange 95 / 50 ΔTcl.F			
4 pole		400V 50Hz - 1.500mi				450V 60Hz - 1.800mi					
MJBM 160 SA4	12	14,8	12,7	-	80,9	17,6	15,1	-	81,4	0,109	120
160 SB4	12	17,4	15,0	-	82,3	20,5	17,6	-	82,5	0,124	130
160 SC4	12	20,1	17,2	-	83,9	24,1	20,7	-	83,9	0,135	140
160 MA4	12	24,4	21,0	-	85,5	28,9	24,8	-	86,0	0,160	165
160 MB4	12	27,9	23,9	-	86,1	33,5	28,7	-	86,7	0,170	175
200 SA4	12	36,5	31,5	-	86,0	44,5	38,0	-	86,7	0,275	215
200 SB4	12	42,0	36,0	-	87,2	52,0	44,5	-	87,3	0,301	220
200 MA4	12	54,0	46,5	-	88,3	64,0	55,0	-	88,4	0,361	260
200 MB4	12	63,0	54,0	-	89,5	76,0	65,0	-	89,6	0,426	300
225 SA4	12	74	64	-	89,0	91	78	-	89,2	0,632	345
225 SB4	12	80	69	-	89,4	99	85	-	89,5	0,698	350
225 MA4	12	92	79	-	90,2	112	96	-	90,4	0,802	390
225 LA4	12	115	99	-	91,2	136	117	-	91,3	0,924	420
250 MA4	12	145	125	130	91,8	165	140	150	92,3	1,13	530
250 MB4	12	160	135	145	92,1	190	165	170	92,5	1,30	590
250 LA4	12	190	165	170	92,3	220	190	200	92,7	1,47	660
250 LB4	12	220	190	200	92,6	245	210	220	92,8	1,77	710
315 SA4	12	260	225	235	92,0	310	265	280	92,6	3,66	830
315 SB4	12	305	260	275	92,5	355	305	320	93,2	4,25	920
315 MA4	12	355	305	320	93,1	420	360	380	93,7	4,80	1060
315 MB4	12	390	335	350	93,5	460	395	415	94,2	5,68	1200
355 SA4	12	445	380	400	93,6	515	440	465	94,0	7,97	1250
355 SB4	12	495	425	445	93,8	590	505	530	94,5	9,29	1550
355 MA4	12	595	510	535	94,5	690	590	620	94,9	11,69	1800
355 MB4	6	695	595	625	94,8	815	700	735	95,1	13,12	2050
400 MA4	6	810	695	730	94,8	975	835	880	95,0	16,3	2250
400 MB4	6	915	785	825	95,2	1090	935	980	95,4	17,0	2300
400 LA4	6	1005	865	905	95,3	1205	1035	1085	95,6	19,3	2550
400 LB4	6	1135	975	1020	95,6	1345	1155	1210	95,8	22,5	2800
450 MB4	6	1310	1120	1180	95,9	1505	1345	1355	96,4	29,0	3200
450 LA4	6	1440	1235	1295	96,0	1655	1480	1490	96,4	34,0	3600
450 LB4	6	1615	1385	1455	96,2	1855	1660	1670	96,5	38,0	4000
500 SC4	6	1680	1445	1515	95,7	1940	1665	1745	95,9	46,7	4000
500 MB4	6	1920	1650	1730	95,9	2210	1895	1990	96,1	52,5	4400
500 LA4	6	2180	1870	1960	96,1	2570	2205	2315	96,3	61,5	5100
560 MA4	6	2405	2065	2165	96,3	2700	2320	2430	96,3	83	5200
560 LA4*	6	2865	2460	2580	96,5	3220	2765	2900	96,5	95	5700
630 SA4*	6	2770	2380	2490	96,3	3190	2740	2870	96,4	117	6350
630 MA4*	6	3000	2580	2700	96,5	3450	2960	3110	96,6	140	7000
6 pole		400V 50Hz - 1.000mi				450V 60Hz - 1.200mi					
MJBM 400 SA6	6	350	300	315	92,7	415	355	375	92,9	11,8	1450
400 SB6	6	390	335	350	93,0	465	400	420	93,3	14,1	1600
400 SC6	6	435	375	390	93,7	515	440	465	93,9	16,8	1800
400 MA6	6	540	465	485	94,1	640	550	575	94,3	17,9	2200
400 MB6	6	610	525	550	94,3	725	620	655	94,5	19,4	2260
400 LA6	6	695	595	625	94,6	825	710	745	94,8	20,9	2530
400 LB6	6	845	725	760	94,8	1000	860	900	95,0	24,2	2750
500 SA6	6	915	785	825	94,6	1085	930	975	95,1	50,5	3200
500 SC6	6	1160	995	1045	95,0	1375	1180	1240	95,5	64,7	3800
500 MB6	6	1395	1195	1255	95,2	1655	1420	1490	95,7	73,6	4400
500 LA6	6	1630	1400	1465	95,4	1930	1655	1735	95,9	88,9	5100
560 MA6	6	1785	1530	1605	96,0	2035	1745	1830	96,0	115	5200
560 LA6	6	2125	1825	1915	96,2	2445	2100	2200	96,2	135	5700
630 SC6	6	1890	1620	1700	95,7	2180	1870	1960	96,3	170	7000
630 MA6	6	2260	1940	2030	95,7	2610	2240	2350	96,3	190	7500
630 LA6	6	2680	2300	2410	96,5	3090	2650	2780	96,8	230	8100
710 SC6*	6	2860	2460	2570	96,0	3210	2760	2890	96,3	on request	
710 MA6*	6	3330	2860	3000	96,7	3720	3190	3350	96,7	on request	
8 pole		400V 50Hz - 750 mi				450V 60Hz - 900 mi					
MJBM 400 SA8	6	210	180	190	91,6	250	215	225	91,9	13,5	1450
400 SB8	6	270	230	245	92,1	330	285	295	92,4	16,2	1600
400 SC8	6	315	270	285	92,4	370	320	335	92,7	19,1	1800
400 MA8	6	445	380	400	92,6	545	465	490	92,9	20,6	2200
400 MB8	6	445	380	400	93,1	525	450	475	93,4	22,4	2260
400 LA8	6	525	450	475	93,3	620	530	560	93,6	24,1	2530
400 LB8	6	645	555	580	93,6	765	655	690	93,9	25,4	2750
500 SA8	6	715	615	645	94,6	845	725	760	95,0	55,1	3200
500 SC8	6	890	765	800	95,1	1055	905	950	95,4	74,2	3800
500 MB8	6	1105	950	995	95,3	1310	1125	1180	95,5	82,2	4400
500 LA8	6	1310	1125	1180	95,3	1550	1330	1395	95,8	95,0	5100
560 MA8	6	1395	1195	1255	95,6	1605	1380	1445	95,9	130	5200
560 LA8	6	1665	1430	1500	95,9	1915	1645	1725	95,9	155	5700
630 SC8	6	1430	1230	1290	95,4	1640	1410	1480	96,2	160	7100
630 MA8	6	1710	1470	1540	95,9	1970	1690	1770	96,4	190	7500
630 LA8	6	2260	1940	2030	96,1	2610	2240	2350	96,5	240	8200
710 SC8	6	2540	2180	2290	96,3	2850	2450	2570	96,5	on request	
710 MA8*	6	2960	2540	2660	96,5	3310	2840	2980	96,7	on request	
710 MB8*	6	3190	2740	2870	96,6	3570	3060	3210	96,8	on request	
710 LA8*	6	3780	3240	3400	96,7	4234	3630	3810	96,9	on request	
10 pole		400V 50Hz - 600 mi				450V 60Hz - 720 mi					
MJBM 500 SA10	6	520	445	470	94,0	645	555	580	94,5	57,0	3300
500 SC10	6	650	560	585	94,3	815	700	735	94,7	67,0	3800
500 MB10	6	760	650	685	94,8	915	785	825	95,2	85,0	4500
500 LA10	6	840	720	755	95,1	1055	905	950	95,5	102,0	4900
630 SC10	6	1040	890	940	95,1	1200	1030	1080	95,4	140	7300
630 MA10	6	1240	1060	1120	95,5	1420	1220	1280	95,8	160	7700
630 MB10	6	1460	1250	1310	95,6	1680	1440	1510	95,9	180	7900
630 LA10	6	1520	1300	1370	95,8	1760	1510	1580	96,1	210	8200
710 SC10	6	2140	1840	1930	95,9	2390	2050	2150	96,3	on request	
710 MA10	6	2570	2210	2310	95,9	2880	2470	2590	96,3	on request	
710 MB10*	6	2740	2350	2470	96,4	3070	2640	2760	96,7	on request	
710 LA10*	6	2960	2540	2660	96,4	3315	2850	2980	96,7	on request	

*690V recommended

Higher output available on request

Ratings refer to the following conditions: balanced non-deforming load, minimum power factor 0,8

Додаток В

В.1 Специфікація елементів системи управління

No.	SYMBOL	PART	TYPE	SPECIFICATION	REMARK	Q'TY	MAKER
1	52	MOLDED CASE SWITCH	HIBS-63C	60/30A	FIXED	1	HYUNDAI
2	88	MAGNETIC CONTACTOR	LC1-D256M7	AC220V 60Hz		1	TELEMECANIQUE
3	2	MAGNETIC CONTACTOR	LCD-D096M7	AC220V 60Hz		1	TELEMECANIQUE
4	51	THERMAL RELAY	LR7D-226	16-24A	SET : 20.0A	1	TELEMECANIQUE
5	33X,63X 33Y,63Y,4X 51X,5X	CONT. RELAY	CAD-326M7	AC220V 60Hz	3a2b	7	TELEMECANIQUE
6	33Y,63Y,51X 4X,88	AUX. RELAY	CAD-N226	AC220V 60Hz	2a2b	5	TELEMECANIQUE
7	33T,63T	TIME RELAY	H3BA-N	AC220V 60Hz	WITH SOCKET	2	OMRON
8	A	AMMETER	BE-48	0-30-60A		1	RISESUN
9	WL	PILOT LAMP	XB5-AV61		BA9s, 24V, 2W	1	TELEMECANIQUE
10	RL	PILOT LAMP	XB5-AV64		BA9s, 24V, 2W	3	TELEMECANIQUE
11	BL	PILOT LAMP	XB5-AV66		BA9s, 24V, 2W	1	TELEMECANIQUE
12	3-11L	PUSH BUTTON	XB5-AA35			1	TELEMECANIQUE
13	3-11R	PUSH BUTTON	XB5-AA45			1	TELEMECANIQUE
14	3C	PUSH BUTTON	XB5-AW3365	WITH LAMP	BA9s, 24V, 2W	1	TELEMECANIQUE
15	3-0	PUSH BUTTON	XB5-AA45			1	TELEMECANIQUE
16	SHS1	SELECTOR SWITCH	XB5-AD25			2	TELEMECANIQUE
17	T	TRANSFORMER	200VA	AC440/0-20-220V	1ø, 60Hz	1	KOC ELEC.
18	F1,F2,F3	FUSE	SB-C1	3A	WITH BASE	3	SB FUSE
19	F4,F5,F6	FUSE	SB-C1	1A	WITH BASE	3	SB FUSE
20	RHM	RUN HOUR METER	TH148S	AC 220V		1	NAIS

В.2 Специфікація силової частини і системи управління

No.	DESIGNATION	No.	DESIGNATION	SYMBOL	NAME	SYMBOL	NAME	SYMBOL	NAME	SYMBOL	NAME					
2	TIME DELAY STARTING OR CLOSING RELAY	70	RHEOSTAT	A	ALTERNATOR	F	FAILURE	N	NEGATIVE POLE	S	STT	STARTER				
3	CONTROL SWITCH	72	DC CIRCUIT BREAKER OR MAGNETIC CONTACTOR		AMMETER		FORWARD		NEUTRAL		SV	SOLENOID VALVE				
4	MAIN CONTACTOR OR RELAY	75	BREAKING DEVICE		AUTOMATIC		FREQUENCY				SW	SEA WATER				
5	STOP SWITCH OR RELAY	77	LOAD LIMIT DEVICE		ANN		ANNUNCIATOR									
6	START CONTACTOR OR SWITCH	80	DC UNDER VOLTAGE RELAY		AS		AMMETER TRANSFER SWITCH		FS		FLOAT SWITCH	OFF(OPEN)				
8	CONTROL SOURCE SWITCH	81	GOVERNOR DRIVING DEVICE		AUX		AUXILIARY					ON(CLOSE)				
9	FIELD REVERSING DEVED	83	SELECTIVE CONTACTOR SWITCH OR RELAY			G	GENERATOR	O	OPEN	T		TEMPERATURE				
10	SEQUENCE SWITCH	84	VOLTAGE RELAY						GROUND FAULT		OCR	OPERATION		TIME		
11	TEST SWITCH OR RELAY	86	BLOCKING RELAY						HEATER			OVER CURRENT RELAY		TRANSFORMER		
12	OVER SPEED SWITCH OR RELAY	88	MAGNETIC CONTACTOR OR SWITCH FOR GENERAL MACHINE		BATTERY				HIGH					TRIPPING		
14	LOW SPEED SWITCH OR RELAY	89	DISCONNECTING SWITCH ISOLATOR	REL	BUS-BAR		H		HOLDING			POSITIVE POLE	U			
18	ACCELERATING OR DECELERATING DEVICE	90	AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR	BZ	ELECTRIC BUZZER				HW		HOT WATER			POWER		TD
19	STARTING TO RUNNING TRANSITION RELAY	91	AUTOMATIC POWER REGULATOR OR POWER RELAY							PRESSURE		TH		THERMAL RELAY		
20	SOLENOID VALVE	94	TRIP-FREE CONTACTOR RELAY							PRIMARY		TC		TORGGLE SWITCH		
23	THERMOSTAT TEMPERATURE CONTROL RELAY	95	AUTOMATIC FREQUENCY REGULATOR OR FREQUENCY RELAY		CLOSE					PF	POWER FUSE					
25	SYNCHRONISM CHECK DEVICE				COOLING	I		INNER PART	P	PS	PRESSURE SWITCH	V			UP	
26	TEMPERATURE RELAY FOR STATIC APPARATUS				COMMON			INSTANT			PT		POTENTIAL TRANSFORMER			
27	A.C UNDER VOLTAGE RELAY				CLOSING COIL		IL	ILLUMINATING LAMP								VACUUM
28	ALARM DEVICE				CONTROL		ITER	INTERLOCK		Q						VOLTAGE
29	FIRE EXTINGUISHING DEVICE				CONDENSER								OIL		VR	VOLTAGE REGULATOR
30	ANNUNCIATOR OR CONDITION OF APPARATUS												RAISE		VS	VOLTMETER CHANGE-OVER SWITCH
33	POSITION SWITCH OR DETECTOR				CH	CHARGE		R	RESISTOR		W					
34	MOTOR OPERATED SEQUENCE SWITCH				COS	CHANGE-OVER SWITCH			LAMP			RELAY				WATT
40	FIELD SWITCHING DEVICE				CP	CAUTION PLATE			LIMIT			REVERSE				WATER
42	RUNNING CONTACTOR OR SWITCH				CT	CURRENT TRANSFORMER			LOAD	RESET						
43	CHANGE OVER SWITCH, CONTACTOR OR RELAY FOR CONTROL CIRCUIT								LOCKING	REMOTE					AUXILIARY	
47	OPEN OR REVERSE PHASE VOLTAGE RELAY					DIRECT			LOW	RT		RECTIFIER	X		NORMAL INPUT	
48	OVERDUE DETECT RELAY					DISCHARGE		LOWER		RIGHT						
49	TEMPERATURE RELAY FOR ROTARY MACHINE					DECELERATION	LS	LIMIT SWITCH		RUN				AUXILIARY		
51	AC OVER-CURRENT RELAY OR OVER-CURRENT GROUND RELAY					DIODE	LVS	LEVEL SWITCH						INVERSE INPUT		
52	AC CIRCUIT BREAKER OR CONTACTOR					DOWN										
59	AC OVER VOLTAGE RELAY					EMERGENCY		MOTOR	S					AUXILIARY		
62	TIME DELAY STOPPING OR OPERATING RELAY					EXCITOR		MANUAL			SWITCH	Z		BUZZER		
63	PRESSURE SWITCH OR RELAY							MAGNETIC			SECONDARY					
65	GOVERNOR				EL	EARTH LAMP		MAIN			SHORT			ZCT	ZERO PHASE SEQUENCE CURRENT TRANSFORMER	
66	FLASHER RELAY					EMERGENCY STOP		METER			START					
67	AC DIRECTIONAL POWER RELAY OF DIRECTIONAL GROUND RELAY				ES	EARTH TEST TRANSFER SWITCH	MC	MAGNETIC CONTACTOR			STOP				PHASE	
69	FLOW RELAY						MCCB	MOLDED CASE CIRCUIT BREAKER		STR	STARTING RELAY				DIAMETER	
							MCS	MOLDED CASE SWITCH		SL	SIGNAL LAMP, PILOT LAMP					

В.3 Схема підключення входів/виходів до системи управління

