

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
(повне найменування інституту, назва факультету)
кафедра електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів
(повна назва кафедри)

Допущено до захисту

зав. кафедри ЕІС та РК
(скорочена назва кафедри)


(підпис) Костенко Д.В.
(прізвище та ініціали)
" 16 " 12 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти
магістр

на тему: Розробка електроенергетичної системи морського судна

Виконав: студент групи 6361м

Спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

спеціалізації «Експлуатація суднових автоматизованих систем»

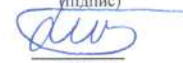
Студент Боросан М.С.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Керівник к.т.н., доцент Овсянников В.М.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент к.т.н., доцент Білюк І.С.
(прізвище та ініціали)


(підпис)

Миколаїв – 2025

Інститут, факультет	Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
Кафедра	Електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів
Рівень вищої освіти	магістр
Галузь знань	14 «Електрична інженерія»
Спеціальність	141 «Електроенергетика, електротехніка електромеханіка»
Освітня програма	Експлуатація суднових автоматизованих систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 Костенко Д.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

"01" 10 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра
на здобуття ступеня вищої освіти магістр

Студенту Боросан Михайло Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка електроенергетичної системи морського судна»

керівник роботи Овсянников В. М., к.т.н., доцент кафедри ЕІС та РК

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

затверджені наказом НУК № 1217 уч. від 14.10.2025 р.

2. Строк подання студентом роботи 10. 12. 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: основні характеристики судна Shallow Draft Tanker; суднова електроенергетична система (СЕЕС); PROTEUS-модель електронної системи автоматичної синхронізації (ЕСАС) генератора; алгоритми керування синхронізацією суднового СГ.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз суднових електроенергетичних систем; навести характеристики суднової енергетичної установки морського судна; здійснити перевірку навантаження суднових генераторів; виконати розрахунок параметрів принципової схеми СЕЕС; виконати розрахунок електронної системи автоматичної синхронізації суднових синхронних генераторів; розглянути питання охорони праці

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

а) Електронна презентація

6. Перелік тем публікацій: підготовлено стаття для публікації в наукових виданнях «Аналіз схемотехніки пристроїв синхронізації генераторів»

7. Дата видачі завдання 17.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз суднових електроенергетичних систем	вересень 2025р	Вик.
2	Аналіз характеристик суднової енергетичної установки морського судна	жовтень 2025р	Вик.
3	Перевірка навантаження суднових генераторів	жовтень 2025р	Вик.
4	Розрахунок параметрів принципової схеми СЕЕС;	листопад 2025р	Вик.
5	Розрахунок електронної системи автоматичної синхронізації суднових синхронних генераторів	листопад 2025р	Вик.
6	Питання охорони праці	грудень 2025р	Вик.
7	Представити роботу до захисту	грудень 2025р	Вик.

Студент


(підпис)

Боросан М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної
роботи


(підпис)

Овсянников В.М.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	6
Вступ.....	7
1. Аналіз суднових електроенергетичних систем.....	9
1.1 Загальні показники СЕЕС.....	9
1.2 Види СЕЕС.....	12
1.3 Структурні схеми суднових електростанцій.....	19
1.4 Висновки по розділу.....	22
2. Характеристики суднової енергетичної установки морського судна	24
2.1 Опис пропульсивної установки «Shallow Draft Tanker».....	24
2.2 Перевірка складу і потужності суднової електроенергетичної станції.....	26
2.3 Висновки по розділу.....	31
3 Перевірка навантаження суднових генераторів.....	32
3.1 Розрахунок та перевірка потужності головних двигунів методом кореляційних залежностей.....	32
3.2 Розрахунок та перевірка потужності генераторної установки методом кореляційних залежностей.....	34
3.3 Перевірка потужності аварійного дизель-генератора (АДГ).....	37
3.4 Висновки по розділу.....	44
4. Розрахунок параметрів принципової схеми СЕЕС.....	45
4.1 Принципова електрична схема електричної системи судна.....	45
4.2 Система збудження синхронного генератора.....	46
4.3 Перевірочний розрахунок генераторних автоматів, кабелю.....	48
4.4 Перевірка системи на робото-спроможність при короткому	

замиканні.....	53
4.5 Розрахунок провалів напруги в момент пуску найпотужнішого асинхронного електродвигуна СЕЕС.....	57
4.6 Висновки по розділу.....	62
5. Електронна система автоматичної синхронізації суднових синхронних генераторів.....	63
5.1 Типи синхронізації.....	64
5.2 Цифровий автоматичний синхронізатор SYNCHROТАСТ.....	67
5.3 Розробка структури ЕСАС ССГ.....	69
5.4 Розрахунки та проектування елементів ЕСАС ССГ.....	72
5.5 Висновки по розділу.....	81
6. Охорона праці.....	82
6.1 Особливості травматизму при роботі з електрообладнанням.....	82
6.2 Аналіз небезпечних факторів при експлуатації електроустановок.....	83
6.3 Допомога при ураженні електричним струмом.....	84
6.4 Заходи щодо безпеки при експлуатації генераторів та електродвигунів.....	85
6.5	
Висновки	по
розділу.....	87
Загальні	висновки
по	магістерської
роботі.....	89
Перелік використаних посилань	

Перелік умовних скорочень

АДП – аналого-дискретний перетворювач;

АРЗ – автоматичний регулятор збудження;

АРЗ СД – автоматичний регулятор збудження сильної дії;

АРЧО – автоматичний регулятор частоти обертання;

АС – автоматичний синхронізатор;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

БЖ – блок живлення;

ВБ – вузол блокування;

ВВ – модуль вводу-виводу;

ВПН – вимірювальний перетворювач напруги;

ГДГ – головний дизель-генератор;

ДДГ – допоміжний дизель-генератор;

ДЖ – джерело живлення;

ПД – приводний двигун;

ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій;

САПР – система автоматизованого проектування;

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;

УЧ – блок зрівнювання частот;

СМ – сервомотор;

ПД – приводний двигун;

ПЗП – постійний запам'ятовуючий пристрій;

РА – регістр адресів;

РД – регістр даних;

РДС – регістр дискретних сигналів.

ЕСАС ССГ - електронна система автоматичної синхронізації суднових

синхронних генераторів.

Вступ

Сучасні судна є складними технічними об'єктами. Однією з їх головних систем є суднова електроенергетична система (СЕЕС). Її основу становить суднова електростанція, до складу якої входять головний розподільчий щит (ГРЩ) та дизель- або турбогенераторні агрегати.

Секціонування головного розподільного щита (ГРЩ) на сучасних судах безпосередньо зв'язано з резервуванням потужності генераторних агрегатів (ГА) і підвищенням надійності роботи судових електроенергетичних систем. Відповідальність за життєздатність судна в цілому також покладається на СЕЕС.

Ефективність систем синхронізації дизель- або турбогенераторних агрегатів визначається рядом факторів. До основних відносяться: швидкодія, точність, експлуатація за правилами; забезпечення робочих режимів електростанції судна; забезпечення паралельної роботи ГА в нестандартних режимах.

Основна мета магістерської кваліфікаційної роботи є: розрахунок і перевірка працездатності судової електроенергетичної системи; удосконалення електронної системи автоматичної синхронізації судових синхронних генераторів (ЕСАС ССГ); застосування у її складі апаратних елементів сучасної інформаційної електроніки; здійснення перевірочних розрахунків генераторних автоматів, кабелю та шин.

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розрахунку суднової електроенергетичної системи морського судна «Shallow Draft Tanker» та удосконаленню електронної системи автоматичної синхронізації (ЕСАС) суднових синхронних генераторів (ССГ). Метод удосконалення - застосування апаратних елементів сучасної електроніки, впровадження відповідного програмно-алгоритмічного супроводження, перевірка працездатності СЕЕС.

Для досягнення поставленої мети здійснено: розрахунки суднової електроенергетичної станції; перевірочний розрахунок генераторних автоматів, кабелю та шин; перевірку системи на робото-спроможність при короткому замиканні; розраховано провали напруги з метою визначення величини провалу напруги в момент пуску найпотужнішого асинхронного електродвигуна при роботі дизельного генератора.

Ключові слова: синхронізації суднових синхронних генераторів; блок зрівнювання частот; головний дизель-генератор; аналого-цифровий перетворювач; автоматичний регулятор збудження.

ABSTRACT

The master's qualification work is devoted to the calculation of the ship's electrical power system of the sea vessel "Shallow Draft Tanker" and the improvement of the electronic automatic synchronization system (ESAS) of ship's synchronous generators (SSG). The improvement method is the use of hardware elements of modern electronics, the introduction of appropriate software and algorithmic support, and the verification of the operability of the SES.

To achieve the set goal, the following were carried out: calculations of the ship's electrical power station; verification calculation of generator automata, cable and tires; verification of the system for operability during a short circuit; voltage dips were calculated in order to determine the magnitude of the voltage dip at the moment of starting the most powerful asynchronous electric motor during the operation of the diesel generator.

Keywords: synchronization of ship's synchronous generators; frequency equalization unit; main diesel generator; analog-to-digital converter; automatic excitation regulator.

information sources on the topic of the master's final qualification work.

1 АНАЛІЗ СУДНОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Проектування конкретної СЕЕС та її складових елементів здійснюється з урахуванням техніко-економічних показників, які характеризують: 1) надійність виробництва і розподілу електроенергії при всіх можливих станах і режимах роботи; 2) якість виробництва і розподілу електричної енергії; 3) масу і габарити; 4) довговічність (що, загалом, пов'язане з поняттям надійності); 5) будівельну вартість; 6) експлуатаційні витрати; 7) рівень автоматизації; 8) рівень уніфікації; 9) рівень шуму, перешкод радіотрансляції. Всі перераховані показники СЕЕС взаємопов'язані.

1.1 Загальні показники СЕЕС

Завдання і реалізація цих показників у практиці здійснюються прийняттям компромісних рішень на підставі аналізу низки варіантів СЕЕС, проведеного в основному методом експертних оцінок. Однак у всіх випадках базовими є показники надійності та якості функціонування СЕЕС.

Всі перераховані вище показники можуть бути представлені у вигляді двох узагальнюючих критеріїв оцінки роботи СЕЕС - її технічної та економічної ефективності.

Висока надійність СЕЕС повинна забезпечуватися з урахуванням всіх можливих впливів (електричних, механічних і кліматичних) як на систему в цілому, так і на її окремі елементи. З цією метою в СЕЕС використовують

складові елементи, що мають належну безвідмовність, застосовують резервування елементів і відповідні зв'язки між ними, передбачають належне розміщення елементів і зв'язки на судні.

Якість виробництва і розподілу електричної енергії СЕЕС визначається на підставі аналізу усталених і перехідних процесів, які можуть мати місце при зміні навантаження, включення та відключення потужних споживачів, включенні генераторів на паралельну роботу, зміні режиму роботи силової установки судна.

Зниження маси і габаритів домагаються шляхом створення раціональних схем і конструктивних форм, застосування матеріалів, що допускають найбільші питомі навантаження, а також правильним вибором роду струму, частоти, напруги та інших параметрів електроустановок.

Підвищення довговічності досягається прийняттям апробованих питомих навантажень на матеріали, застосуванням матеріалів, що мають велику зносостійкість, поліпшенням ремонтпридатності.

Зниження будівельної вартості є результатом збільшення серійності, застосування широкої уніфікації і типізації, відмови від використання дефіцитних і дорогих матеріалів.

Експлуатаційні витрати знаходяться в прямій залежності від надійності, довговічності, ремонтпридатності, коефіцієнтів корисної дії, чисельності екіпажу і т. і.

Рівень автоматизації зазвичай визначається на підставі окремих техніко -економічних розрахунків (при цьому оцінюється його вплив на надійність, якість, масу, габарити, вартість, експлуатаційні витрати). У деяких випадках автоматизація необхідна по технологічних особливостях роботи електроустановки.

Підвищення рівня уніфікації потрібно головним чином для зниження будівельної вартості, зниження експлуатаційних витрат, поліпшення ремонтпридатності.

Рід струму є таким фактором, від якого залежать, по суті, всі особливості енергосистеми. Тому при проектуванні судових

електроенергетичних систем живлення вибору роду струму приділяється суттєва увага.

Правильне рішення про вибір роду струму електроенергетичної системи даного судна може бути ухвалене тільки на підставі техніко-економічного порівняння варіантів СЕЕС. У загальному плані при цьому можна відзначити, що сучасні електричні машини змінного струму (частотою 50 Гц) в порівнянні з машинами постійного струму мають менші габарити, масу і вартість, більш надійні і довговічні, вимагають менших експлуатаційних витрат. Проте в деяких випадках тільки із застосуванням машин постійного струму вдається створити електропривод з широким і плавним регулюванням частоти обертання при близьких за величиною інших показниках. Разом з тим розвиток напівпровідникової техніки сприяє розширенню застосування електроприводів змінного струму.

Практика показує, що на більшості великих і середніх сучасних судах транспортного і рибпромислового флоту, і судах технічного флоту переважні СЕЕС змінного струму, а на дрібних судах і судах спеціалізованого призначення - СЕЕС постійного струму.

На ряді судів, де вагомі та габаритні показники є вирішальними (судна на підводних крилах, повітряній подушці, гліссируючі і т. п.), визнано доцільним застосування СЕЕС змінного струму частотою 400 Гц замість змінного струму частотою 50 Гц. Це дає можливість збільшити частоту обертання електроприводів і механізмів приблизно в 2-3 рази (в окремих випадках і більше), в результаті чого значно зменшуються габарити і маса агрегатів двигун - механізму і двигун - генератора.

Так, наприклад, підвищення синхронної частоти обертання асинхронних двигунів з 3000 до 8000 об / хв дає зниження їх маси в 2,5-3,5 рази і габаритів в 2,5 рази. Потужність трансформаторів при переході з частоти 50 Гц на частоту 400 Гц при однаковому їх обсязі можна збільшити приблизно в 2,5-3,0 рази. При частоті 400 Гц змінного струму значно поліпшуються вага габаритні показники електромагнітних апаратів, істотно зменшується час протікання електромагнітних перехідних процесів, а також

різко поліпшуються масогабаритні показники елементів електроавтоматики.

Передача і розподіл електричної енергії на судах здійснюються в основному з використанням кабелів. На ділянках невеликої довжини і при великих токах іноді застосовуються шино проводи. Перетин, а отже, маса і габарити кабелів і кабельних трас, визначаються головним чином величиною струму, переданого по ним.

При заданій напрузі величина струму пропорційна величині переданої потужності. Тому із зростанням потужності СЕЕС збільшуються маса і габарити кабельних трас. Основним засобом їх зменшення є підвищення напруги. Саме тому із збільшенням потужності СЕЕС підвищують їх напругу.

Наприклад, при потужності СЕЕС в кілька кіловат застосовують напруга 24 В, при потужності СЕЕС, складовою десятки кіловат, використовують напругу 110 або 127 В, при потужності в сотні кіловат раціонально накладення 220 В, а при великої потужності - 380 В.

Більш високі напруги в СЕЕС транспортного і рибпромислового флоту в даний час не застосовуються. Можна очікувати, що в найближчій перспективі на судах, де потужності СЕЕС становитимуть десятки тисяч кіловат, напруга СЕЕС буде підвищуватися. Це викличе необхідність створення нових видів електрообладнання, так як її готують нині електрообладнання розраховується на напругу до 1000 В.

Вибір напруги зазвичай проводиться на підставі техніко -економічних порівнянь ряду варіантів СЕЕС. При цьому розглядається комплекс питань, пов'язаних з прийняттям величин напруги для електростанцій, мережі розподілу електроенергії, окремих найбільш великих по потужності споживачів електроенергії мереж освітлення, мереж зв'язку, управління та ін

З різних технічних причин багато з цих ділянок системи електропостачання не можуть бути виконані на єдиному напрузі, тому в системі повинні використовуватися трансформатори й перетворювачі. При підвищенні напруги і зниженні переданого струму можна в окремих випадках досягти зниження маси і габаритів апаратів і розподільних

пристроїв.

1.2 Види СЕЕС

Суднові електроенергетичні системи поділяються на види:

- 1) автономні СЕЕС, які не мають безпосереднього зв'язку з силовою установкою судна (яку тепер називають енергетичною);
- 2) СЕЕС, мають джерела електричної енергії з відбором потужності від силової установки;
- 3) СЕЕС, об'єднані з силовою установкою.

СЕЕС можна розрізняти також за кількістю електростанцій, що входять до неї, типами та кількістю джерел електричної енергії на цих електростанціях, за призначенням і розташуванням окремих електростанцій, кількістю і видами зв'язку між ними.

1.2.1 Автономні СЕЕС

На рис. 1.1-1.3 представлено три варіанти структурних схем автономних СЕЕС. Кожна з цих СЕЕС має автономні джерела електричної енергії - турбогенератори або дизель-генератори, головні розподільні щити, розподільні щити, трансформатори, випрямлячі, щит прийому харчування з берега і інші елементи.

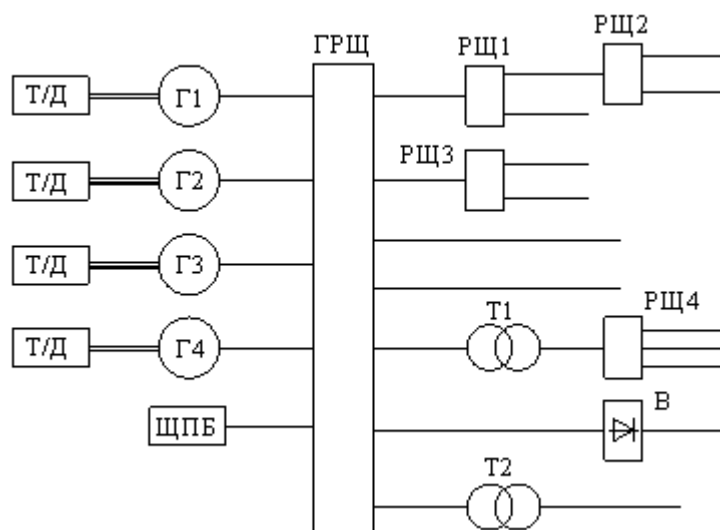


Рис. 1.1. Структурна схема автономної СЕЕС з однією основною

електростанцією: Т/Д - турбіна або дизель; Г1 - Г4 - генератори; ЩПБ - щит прийому харчування з берега; ГРЩ - головний розподільний щит; РЩ1 - РЩ4 - розподільні щити; Т1- Т2 - трансформатори; В - випрямний агрегат.

На рис. 1.1 наведена схема з однією основною електростанцією, а на рис. 1.2 - схема з двома основними електростанціями. У другому випадку СЕЕС є більш надійною, тому що при виході з ладу однієї з електростанцій постачання електроенергією забезпечується від іншої. Електростанції мають між собою одну або дві електричні зв'язки, по яких в тому чи іншому напрямку може передаватися електроенергія. Дві електростанції (або більше) припадає передбачати при необхідності в установці на судні великої кількості генераторів і значної їх потужності. Наприклад, при потужності електростанції 3000 кВт і напрузі 400 В ударні струми короткого замикання можуть досягати 100-120 кА, що є граничним по динамічній стійкості існуючих в даний час автоматичних вимикачів. Отже, при потужності більше 3000 кВт з'являється необхідність у розукрупненні електростанцій або вжиття інших заходів з обмеження величини струмів короткого замикання в СЕЕС

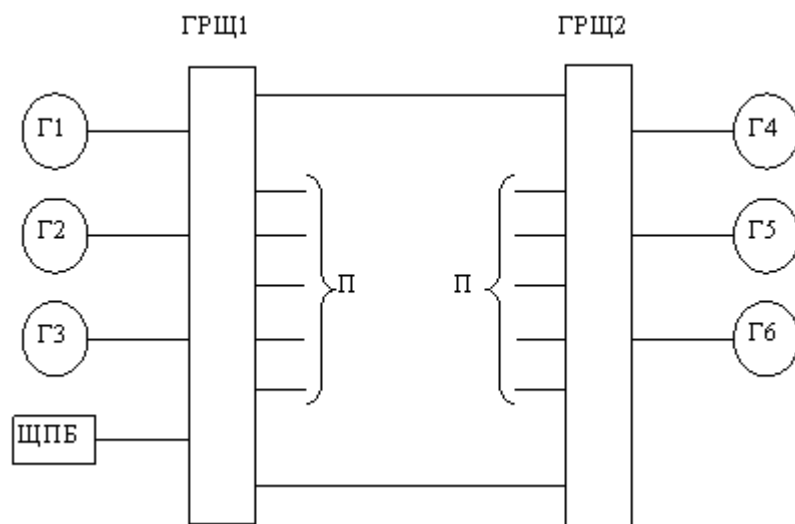


Рис. 1.2. Структурна схема автономної СЕЕС з двома основними електростанціями (П - споживачі електроенергії).

Якщо електростанція має у своєму складі тільки дизель -генератори

або газотурбо-генератори, то вона є повністю автономною. Якщо ж у складі електростанції є турбогенератори, то разом з ними завжди встановлюються дизель- генератори (як резервні, стоянкових або аварійних джерел), так як турбогенератори (паротурбогенератори) зазвичай працюють тільки тоді, коли функціонує котельня установка. Крім того, паротурбогенератори в порівнянні з дизель- генераторами вимагають значно більшого часу для введення їх під навантаження з «холодного» стану.

Згідно з вимогами Регістру на більшості судів транспортного рибпромислового флоту незалежно від кількості основних електростанцій повинна бути також аварійна електростанція. Аварійна електростанція, як показано на рис. 1.3, має електричний зв'язок з однією з основних електростанцій, по якій в нормальних режимах роботи передається електроенергія в напрямку від основної електростанції до аварійної. При зникненні напруги на збірних шинах основний електростанції дається сигнал на автоматичний запуск аварійного генератора, а контактор К, перемикаючи свої контакти, підключає до шин цей генератор. Таким чином забезпечується безперервне (з перемиканням) харчування споживачів електроенергії, підключених до шин аварійної електростанції.

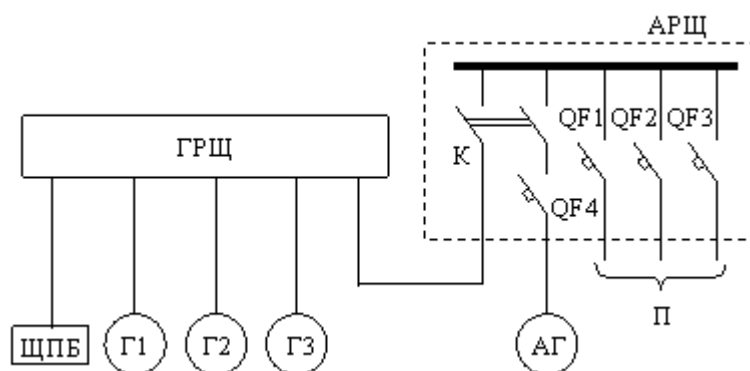


Рис. 1.3. Структурна схема автономної СЕЕС з однією основною і однією аварійною електростанціями: АРЩ - аварійний розподільний щит; К - контактор; АГ - аварійний генератор.

1.2.2 СЕЕС з відбором потужності від силової установки

Відбір потужності від силової установки для СЕЕС може

здійснюватися застосуванням у складі електростанцій:

1) генераторів (валогенераторов), привід яких здійснюється через механічну передачу від суднового валопроводу або від валу відбору потужності головного двигуна (рис. 1.4, а);

2) турбогенераторів, які отримують пар від утилізаційних котлів, які використовують тепло вихлопних газів головних двигунів (рис. 1.4, б).

Перші можуть застосовуватися як на теплоходах, так і на пароплавах, другі - тільки на теплоходах. Існують також комбіновані системи, які мають валогенератори і турбогенератори відбору потужності. Очевидно, що валогенераторні системи є системами безпосереднього відбору потужності, а турбогенератори - системами непрямого відбору потужності.

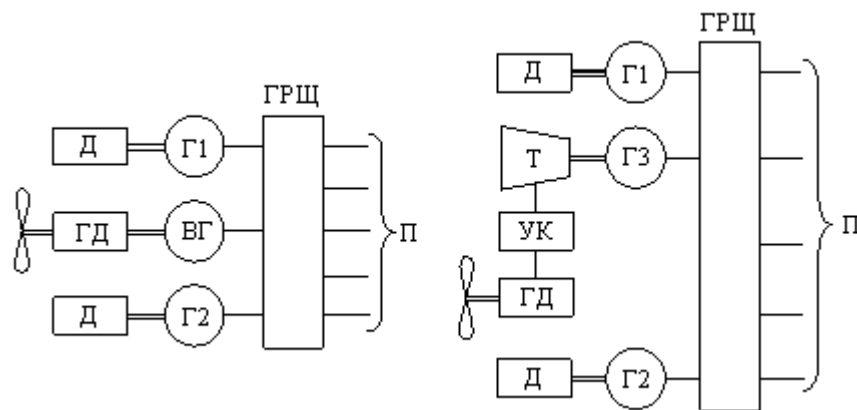


Рис. 1.4. Структурні схеми СЕЕС з відбором потужності від силової установки: Д - дизель; ВГ - валогенератор; ГД - головний двигун; Т - турбіна; УК - утилізаційний котел.

Застосування розглянутих електроенергетичних систем доцільно на тих судах, які майже всі ходове час мають постійну або з незначними коливаннями швидкість руху (в межах від «повного» до «середнього»). При цьому валогенератори (турбогенератори), працюючи в ходових режимах, дають можливість значно рідше включати в роботу дизель-генератори, тим самим збільшуючи термін їх служби. Електроенергія, що виробляється валогенераторами, як правило, значно дешевше електроенергії, що виробляється дизель-генераторами. У деяких випадках при застосуванні

валогенераторов можливе зменшення кількості дизель- генераторів. Це дає також можливість знизити вартість вироблення електроенергії, завдяки тому що термічний к. п. д. головних двигунів (дизеля або турбіни), як правило, вище к. п. д. дизель- генераторів або турбогенераторів (оскільки потужність останніх у багато разів менше головних).

Іноді також вартість палива головних двигунів нижче вартості дизель-генераторів (турбогенераторів).

Утилізація тепла вихлопних газів головних двигунів для отримання електричної енергії, опалення приміщень, підігріву масла або палива і т. п. завжди підвищує економічну ефективність суднової енергетичної установки. Це пов'язано з додатковими капітальними витратами, які повинні окупатися в мінімально раціональний термін. Досвід, наприклад, показує, що установка утилізаційних котлів та відповідних їм турбогенераторів замість дизель-генераторів раціональна тільки при потужності силової установки не нижче 3600 кВт і використанні турбогенераторів протягом періоду, що становить не менше половини ходового часу.

Основним недоліком систем відбору потужності є залежність їх роботи від швидкості руху судна.

При застосуванні валогенераторов зміна швидкості руху судна, тобто зміна частоти обертання гребного валу, безпосередньо пов'язано зі зміною частоти обертання генератора, внаслідок чого вихідні параметри валогенераторов - напруга і частота струму - зменшуються від номінальних значень при ході зі швидкістю «повний» до нуля при зупинці головних машин. Це, по-перше, ускладнює або робить майже неможливою паралельну роботу валогенераторов з автономними генераторами і, подруге, вимагає швидкого включення резервного джерела електроенергії при зупинці машин.

Стабілізувати вихідні параметри валогенераторов і поліпшити умови їх паралельної роботи можна застосуванням спеціальних перетворювачів електроенергії або пристроїв, що забезпечують постійну частоту обертання генераторів, незважаючи на змінну частоту обертання гребного валу. Утилізаційні турбогенератори завдяки тепловій інерції системи, а також

можливості регулювання витрати пари мають більш стабільні вихідні параметри і можуть задовільно працювати паралельно з автономними генераторами. При зупинці машин вони продовжують функціонувати протягом 5-20 хв.

В даний час СЕЕС з валогенераторами широко поширені на судах, де не пред'являється особливо жорстких вимог до зміни вихідних параметрів. До числа таких судів належать в основному річкові судна, тривалість ходу яких зі швидкістю «повний» або «середній» становить не менше 25 % загальної тривалості ходового часу за навігацію.

Валогенератори і утилізаційні турбогенератори широко використовуються на морських транспортних судах, побудованих іноземними фірмами. Застосування валогенераторов доцільно на судах з гребними електричними установками. При цьому привід валогенераторов здійснюється від головних двигунів, частота обертання яких не змінюється.

1.2.3 СЕЕС, об'єднані з силовою установкою

СЕЕС доцільно об'єднувати з силовою установкою в тому випадку, коли для приводу суднових рушіїв використовуються електродвигуни. При цьому живлення споживачів СЕЕС і гребних електродвигунів здійснюється від загальних генераторів (рис. 1.5).

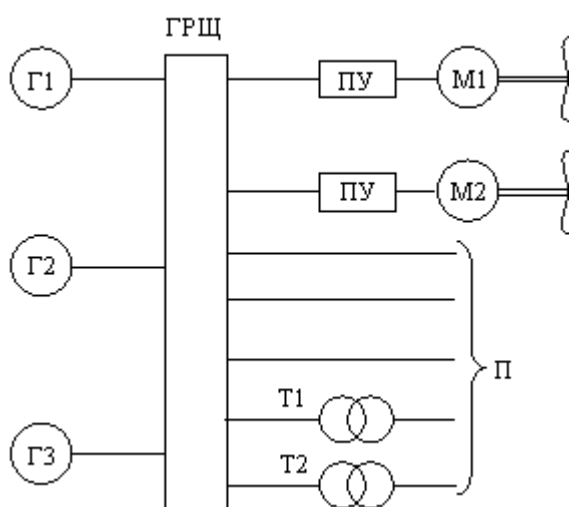


Рис. 1.5. Структурна схема об'єднаної СЕЕС: ПУ – перетворювальне (пусковий) пристрій; М1, М2 - гребні електродвигуни (мотори).

Така об'єднана (або єдина) електроенергетична система знаходить застосування, наприклад, на судах технічного флоту - земснарядах. На стоянці, коли земснаряд виконує роботи з виїмки ґрунту, генератори навантажуються в основному електроприводами технологічних лебідок. У ходовому режимі генератори працюють на електроприводи рушіїв (гребних гвинтів).

Подібна система застосовується на рибпромислових судах, де є потужне технологічне електрообладнання. Напруга і частота на шинах об'єднаних електростанцій зберігаються стабільними.

Регулювання частоти обертання електроприводів (якщо це необхідно) здійснюється за допомогою індивідуальних перетворювачів або спеціальних пускорегулюючих пристроїв. При даній системі доцільне застосування суднових крильчатих рушіїв або гвинтів регульованого кроку.

Об'єднана СЕЕС застосовується на плавучих кранах, де є потужні технологічні електроприводи і електроприводи суднових крильчатих рушіїв. Проектування об'єднаних СЕЕС пов'язано з рішенням комплексних завдань, зумовлених вимогами автономних СЕЕС і гребних електричних установок (ГЕУ).

Такі СЕЕС застосовуються в тих випадках, коли потужність, необхідна для забезпечення загальносуднових споживачів електроенергії, порівнянна з потужністю силової установки або коли створюється така ГЕУ, від генераторів якої можна живити загальносуднову споживачі електричної енергії.

1.3 Структурні схеми суднових електростанцій

Структурні схеми електростанцій СЕЕС повинні передбачати:

- 1) паралельну роботу на загальні збірні шини всіх генераторів, встановлених на електростанції;
- 2) роздільну роботу окремих генераторів (або груп генераторів),

кожен (кожна) з яких підключається до окремої секції збірних шин;

3) захист генераторів і живильних ліній від ненормальних режимів роботи;

4) прийом харчування однієї з електростанцій з берега або від інших судів;

5) якомога більш просту систему управління роботою електростанції при переході від одного режиму роботи до іншого;

6) виконання періодичних оглядів і ремонтів ГРЩ електростанції при знятій напрузі;

7) можливість виготовлення ГРЩ по секціях;

8) мінімальні габарити і масу ГРЩ.

Електростанції експлуатованих нині судів мають вельми різнотипні структурні схеми. Серед них можна знайти схеми, що допускають і не допускають паралельну роботу генераторів, схеми з однією і декількома незалежними системами збірних шин, що допускають перемикання генераторів або споживачів та ін

При проектуванні суднових електростанцій в даний час, як правило, передбачається паралельна робота генераторів на одну систему збірних шин, яка за допомогою комутаційних апаратів або знімних шинних накладок ділиться на кілька секцій для того, щоб забезпечити в деяких випадках роздільну роботу генераторів (наприклад, на випадок ремонту ГРЩ, неможливості паралельної роботи з валогенератором, погіршення якості роботи регуляторів частоти обертання або інших систем автоматизації паралельної роботи генераторів). При цьому нормальним робочим положенням є таке, коли всі секційні апарати включені.

Дві окремі системи шин, в нормальній роботі не з'єднані між собою, можуть бути визнані доцільними в тому випадку, коли загальна потужність паралельно працюючих генераторів обмежується граничними для апаратів значеннями струмів короткого замикання в СЕЕС і разом з тим всі генератори встановлюються в межах однієї електростанції.

На рис. 1.6 представлена структурна схема електростанції з однією

системою збірних шин, розділених на п'ять секцій. До секціям шин Ш1 і Ш2 підключені генератори і найбільш відповідальні споживачі електричної енергії. До секції шин Ш3 підключені в основному споживачі стоянкового режиму, сюди ж може бути подано харчування з берега. До секціям шин Ш4 і Ш5 підключені споживачі камбуза, освітлення та інші споживачі напругою 220 В. За допомогою роз'єднувача В1 є можливість відокремити секції Ш1 і Ш2 і здійснити огляд апаратури тих чи інших генераторів і відповідних споживачів електроенергії. За допомогою перемикача В2 секція Ш3 (зі стоянковими споживачами) може отримувати живлення від будь-яких двох генераторів, підключених до секції Ш1 або Ш2. При подачі живлення з берега на секцію Ш3 по черзі можуть бути оглянуті секції Ш1 і Ш2.

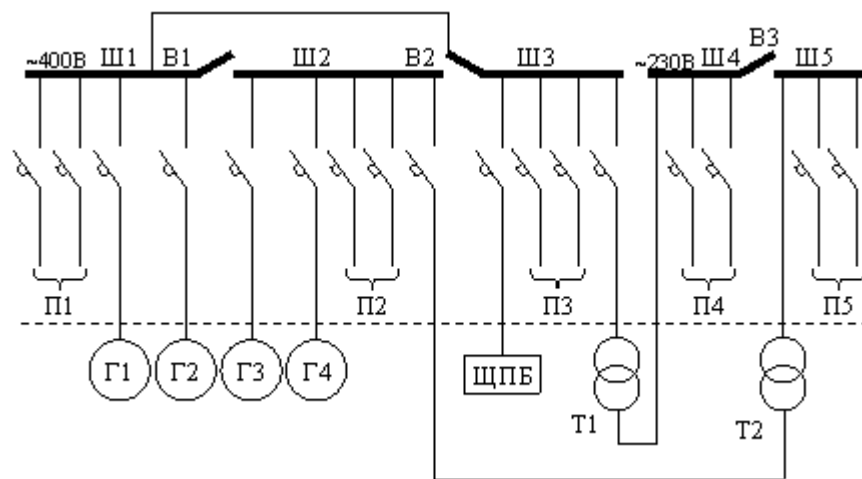


Рис. 1.6. Структурна схема електростанції з однією системою збірних шин: Ш1 - Ш5 - секції шин електростанції; В1, В3 - роз'єднувачі; В2 – перемикач.

За допомогою роз'єднувача В3 можна провести почерговий огляд секцій Ш4 і Ш5. Наявність роз'єднувача В1 дає можливість також здійснювати паралельну роботу генераторів попарно або всіх чотирьох разом.

При наявності трьох генераторів на електростанції зазвичай для кожного генератора виділяється окрема секція шин з розбивкою споживачів на всі три або тільки на дві крайні секції шин.

Валогенератори і утилізаційні турбогенератори, як правило,

виділяються за власні секції шин. Турбогенератори і дизель-генератори також поділяють по окремих секціях шин.

В якості секційних апаратів застосовуються як роз'єднувачі, так і автоматичні вимикачі. Останні при коротких замиканнях відповідно з вибірковістю дії захисту відокремлюють неушкоджені секції шин від пошкоджених.

Захист генераторів і всіх живильних ліній здійснюється автоматичними вимикачами.

На рис. 1.7 наведено структурну схему електростанції з двома системами збірних шин. При цьому кожна система шин може бути розділена на дві секції за допомогою роз'єднувачів В1 і В2. Споживачі електроенергії рівномірно розподілені між двома системами шин.

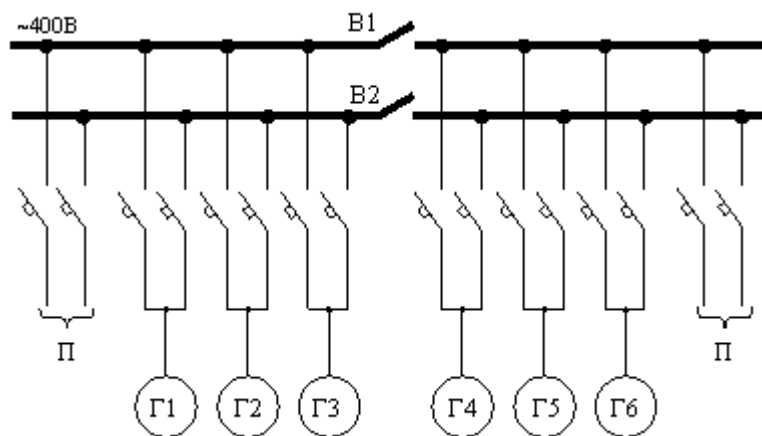


Рис. 1.7. Структурна схема електростанції з двома системами збірних шин.

Генератори можуть бути вибірково підключені до однієї або іншої системи шин.

Подібна схема має високу маневреність у роботі та здатністю до ремонту. Недоліком її є подвійний комплект автоматичних вимикачів для кожного генератора, що пов'язано зі збільшенням габаритів ГРЩ електростанції. Однак при великій загальній потужності генераторів і неможливості розмістити на судні кілька електростанцій дана схема заслуговує на увагу.

1.4 Висновки по розділу

1. Передача і розподіл електричної енергії на судах здійснюються в основному з використанням кабелів.
2. Вибір напруги зазвичай проводиться на підставі техніко-економічних порівнянь ряду варіантів СЕЕС.
3. Суднові електроенергетичні системи поділяються на види: автономні СЕЕС, які не мають безпосереднього зв'язку з силовою установкою судна (яку тепер називають енергетичної); СЕЕС, мають джерела електричної енергії з відбором потужності від силової установки; СЕЕС, об'єднані з силовою установкою.
4. При наявності трьох генераторів на електростанції зазвичай для кожного генератора виділяється окрема секція шин з розбивкою споживачів на всі три або тільки на дві крайні секції шин.

2 ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ МОРСЬКОГО СУДНА

2.1 Опис пропульсивної установки «Shallow Draft Tanker»

Розрахунки параметрів СЕЕЕС в магістерській роботі буде виконано для танкеру «Shallow Draft Tanker», який спроектований для транспортування нафтопродуктів із температурою спалаху нижче 60°C та інших вантажів відповідно до Додатку 1 MARPOL.

Судно оснащено сучасною енергетичною установкою, яка забезпечує його ефективну експлуатацію в морських та річкових умовах, високу маневровість, автономність та відповідність сучасним екологічним стандартам. Пропульсивна система складається з двох головних двигунів та двох азимутальних рушіїв, що забезпечують потужність і мобільність судна.

Головні двигуни

В якості головної рушійної сили використовуються два дизельні двигуни середньої швидкості *Wärtsilä 6L20*, які відповідають стандартам ІМО Tier II щодо викидів. Двигуни оснащені турбонаддувом та системою проміжного охолодження, що підвищує їхню ефективність.

Основні характеристики головних двигунів

Виробник	Wärtsilä
Тип	6L20
Кількість циліндрів	6
Максимальна потужність	1200 кВт
Максимальна швидкість обертання	1000 об/хв
Паливо	важке паливо IFO380
Система охолодження: роздільна, прісноводна для контурів високої (HT) і низької (LT) температури	

Системи головних двигунів забезпечують безперебійну роботу та включають:

- паливну систему: дуплекс-фільтри, насоси впорскування, охолоджувачі палива.

- систему охолодження: насоси з приводом від шестерень, термостати, теплообмінники.

- систему змащення: мокрий картер, насоси, охолоджувачі мастила, фільтри.

- систему запуску: повітряну з електронною підготовкою.

- систему дистанційного керування подачею палива: електронна з ручним дублюванням.

Головні двигуни встановлені на амортизованих рамах, що забезпечує зниження вібрації, шуму та додаткову надійність експлуатації.

Азимутальні рушії

Судно обладнане двома азимутальними рушійми *Schottel SRP1012FP*, які забезпечують маневровість судна, дозволяючи відмовитися від використання традиційного стернового обладнання.

Основні характеристики азимутальних рушіїв

Тип гвинта	фіксованого кроку (ГФК)
Діаметр гвинта	1,9 м
Матеріал гвинта	бронза NiAl

Максимальна потужність	1200 кВт
Вхідна швидкість обертання	1000 об/хв

Кожен рушій оснащений:

- Гідравлічною системою керування напрямком обертання гвинта для забезпечення плавного маневрування.

- Системою змащення: редукторним насосом із гідравлічним приводом.

Електропостачання

Енергопостачання судна забезпечують три основні дизель-генератори потужністю 300 кВт кожен, виробництва *Caterpillar*, а також аварійний дизель-генератор *Caterpillar C7.1* потужністю 164 кВт. Генератори забезпечують живлення навігаційного обладнання, систем освітлення, вентиляції, кондиціювання, камбузу та іншого допоміжного обладнання.

Дизель-генератори встановлені на амортизованих рамах і спроектовані для тривалої безперебійної роботи. Всі компоненти відповідають міжнародним стандартам якості та екологічності.

Інтегровані системи

Для забезпечення ефективної роботи всіх компонентів енергетичної установки використовуються інтегровані системи моніторингу, які контролюють такі параметри:

- Тиск і температуру в системах охолодження та змащення;
- Перевищення швидкості двигунів;
- Стан паливних і масляних фільтрів;
- Несправності та аварійні зупинки.

2.2 Перевірка складу і потужності суднової електроенергетичної станції

2.2.1 Вимоги до забезпечення ефективності СЕЕС судна

Судно є автономною спорудою, тому всі нормальні та ненормальні режими, в яких вона може виявитися, мають забезпечуватись власними коштами.

До ненормальних режимів можна віднести, наприклад, отримання пробоїни і, як наслідок, затоплення відсіків; пожежу; вихід із ладу окремих відповідальних механізмів; відмова генераторів; пошкодження кабельних трас тощо. буд. У таких ситуаціях частина споживачів електричної енергії може бути пошкоджена, частина – залишитись без живлення тощо. п.

Однак зупинення роботи деяких суднових механізмів та пристроїв абсолютно неприпустиме або допускається лише на дуже короткий час. Наприклад, припинення роботи кермового пристрою може призвести до аварії через зіткнення судна з перешкодами; припинення подачі живлення водовідливним насосам може спричинити затоплення.

Сучасні системи управління судами все частіше інтегрують автоматизовані рішення, які дозволяють оперативно виявляти та усувати такі загрози. Наприклад, використання сенсорів у реальному часі допомагає моніторити стан обладнання та попереджати екіпаж про перегрівання механізмів або потрапляння води у відсіки. Крім того, системи автоматичного перемикавання на резервні насоси чи генератори дозволяють мінімізувати ризик розвитку аварійної ситуації.

У зв'язку з цим суднові електроенергетичні системи повинні забезпечувати безперечну безперебійність постачання споживачів електроенергією в усіх режимах роботи судна. Це є основною вимогою, що висувається до суднових електроенергетичних систем (СЕЕС). Для його виконання передбачаються такі заходи:

- подання живлення до відповідальних споживачів кількома кабелями;
- захист кабельних трас від зовнішніх впливів;
- встановлення резервних та аварійних агрегатів;
- розміщення обладнання у менш уразливих місцях;
- встановлення на судні кількох електростанцій.

Подача живлення до найбільш відповідальних споживачів електроенергії проводиться двома кабелями (від одного або двох незалежних джерел), прокладеними на значній відстані один від одного. Якщо це можливо, кабелі доцільно прокладати різними бортами судна.

Обидва кабелі в ходових та інших спеціальних для певного судна режимах перебувають під напругою. У разі виходу з ладу одного з них споживач автоматично перемикається на живлення іншим кабелем.

До відповідальних споживачів електроенергії на судах належать: кермовий пристрій; радіозв'язок; навігаційне обладнання; рятувальні та протипожежні засоби; механізми, які обслуговують основні силові установки; брашпіль та інші механізми, що безпосередньо впливають на безпеку плавання та керування судном.

Враховуючи важливість цих систем, останніми роками активно розробляються багаторівневі резервні системи харчування. Наприклад, на сучасних судах впроваджуються акумуляторні батареї високої потужності, які можуть тимчасово замінити основні джерела енергії у разі їхньої відмови. Забезпечення живлення вирішується з урахуванням конкретних вимог, що висуваються до проєктованого судна. Кабельні траси прокладають у місцях, де найменш імовірно їх пошкодження під впливом механічних зусиль, високих температур, мастил, кислот, нафтопродуктів тощо.

У випадках, коли уникнути впливу цих факторів неможливо, кабельні траси або окремі кабелі спеціально захищають кожухами, трубами чи жолобами.

Резервні агрегати встановлюються лише для особливо відповідальних споживачів, вихід з ладу яких може призвести до неможливості виконання судном своїх функцій. До таких споживачів належать, наприклад, рулевий електропривод, перетворювальні агрегати для живлення засобів зовнішнього зв'язку тощо.

Також обов'язково передбачаються резервні генератори, які можуть замінити основні у разі їхньої несправності. Крім того, на судах певного призначення (пасажирських, танкерах тощо) встановлюється аварійна електростанція. Вона повинна відповідати спеціальним вимогам щодо конструкції та розміщення на судні.

Використання зазначених та інших заходів спрямоване на забезпечення безперебійного живлення судна. До суднової електроенергетичної системи (СЕЕС) висуваються наступні вимоги:

- можливість швидкої локалізації пошкоджених ділянок;
- мінімальна витрата кабелів;
- простота керування при переході між режимами роботи;
- мінімальна вага, габарити та вартість системи.

2.2.2 Вимоги Регістру судноплавства України до складу і потужності основного джерела електричної енергії на судні

На кожному судні повинне бути передбачене основне джерело електричної енергії потужністю достатньою для забезпечення живленням всього електричного обладнання судна в умовах зазначених далі. Таке джерело повинне складатися, принаймні, з двох генераторів з незалежним приводом.

Кількість і потужність генераторів з незалежним приводом і електричних перетворювачів, які входять до складу основного джерела електричної енергії, повинні бути такими, щоб у разі виходу з ладу будь-якого з них, ті, що залишилися, забезпечували можливість:

- живлення необхідного електричного обладнання в умовах, зазначених далі, у разі одночасного забезпечення нормальних побутових умов життєвої придатності на судні;

- пуску найпотужнішого електродвигуна з найбільшим пусковим струмом. При цьому пуск двигуна не повинний викликати такого зниження напруги і частоти в мережі, яке може спричинити випадання із синхронізму, зупинення двигуна генератора, а також відключення працюючих машин і апаратів;

- живлення споживачів, необхідних для пуску пропульсивної установки (див.1.2.1 частини VII “Механічні установки”) у разі знеструмленого стану судна. Для цієї мети може бути використане аварійне джерело електричної енергії, якщо його власна потужність або сумарна

потужність із будь-яким іншим джерелом електричної енергії забезпечує одночасно живлення споживачів, зазначених у 9.3.1–9.3.3 або 19.1.2.1–19.1.2.3 (див. також 2.1.6 частини VII “Механічні установки”), для чого може бути передбачена їх паралельна робота .

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

- ходового режиму;
- маневрів;
- під час пожежі, пробоїни корпусу або інших умов, які впливають на безпеку плавання судна, у разі роботи основного джерела електричної енергії;
- інших режимів відповідно до призначення судна.

2.2.3 Вимоги Правил Регістру щодо експлуатаційних режимів роботи судна

Навантаження генераторів СЕЕС не є постійним, а залежить, в основному, від режиму роботи судна. Відповідно до Правил Регістру визначення складу і потужності генераторів основного джерела електричної енергії має здійснюватися з урахуванням наступних режимів роботи судна:

- ходового;
- маневрів;
- аварійного - під час пожежі, пробоїни і т.і.;
- інших режимів відповідно до призначення судна (стоянка з вантажними операціями і без вантажних операцій для транспортних судів, стоянка і хід в льодах для криголамів і т.д.).

У ходовому режимі включені приймачі, що забезпечують роботу СЕУ, засобів зв'язку, навігації, а також створюють нормальні побутові умови екіпажу. У режимі маневрів працюють всі приймачі ходового режиму і

додатково можуть бути включені електроприводи шпиля, брашпиля, компресори пускового повітря.

В режимі стоянки без вантажних операцій включені приймачі, що задовольняють потреби екіпажу, що забезпечують роботу приводних двигунів механізмів допоміжного котла. В режимі стоянки з вантажними операціями додатково включаються вантажні лебідки та крани. В аварійному режимі з роботою основної електростанції до приймачів, що працюють в ходовому режимі додаються пожежні, баластні, осушувальні насоси. При цьому можуть бути відключені мало відповідальні споживачі.

Режими роботи приймачів електроенергії

У кожному експлуатаційному режимі приймачі електроенергії поділяються на працюючі:

- безперервно (багаторазово або одноразово підключаються приймачі, сумарний час роботи яких знаходиться в межах 70 ... 100% від тривалості режиму (17 ... 24 год на добу));

- періодично (багаторазово або одноразово підключаються приймачі, сумарний час роботи яких знаходиться в межах 15..70% від тривалості режиму (3,5 ... 17 ч в добу));

- епізодично працюють (багаторазово або одноразово підключаються приймачі, сумарний час роботи яких менше 15% від тривалості режиму (менше 3,5 год на добу)). 15-70% (3,5-17ч / добу), менше 15% (менше 3,5 год / добу) тривалості аналізованого періоду.

2.3 Висновки по розділу

1. Пропульсивна установка «Shallow Draft Tanker» складається з двох головних двигунів та двох азимутальних рушіїв.
2. Судно є автономною спорудою, тому всі нормальні та ненормальні режими, в яких вона може виявитися, мають забезпечуватись власними коштами.

3. Визначення складу і потужності генераторів основного джерела електричної енергії має здійснюватися з урахуванням режимів роботи судна: ходового; маневрового; аварійного; режимів відповідно до призначення судна.

3 ПЕРЕВІРКА НАВАНТАЖЕННЯ СУДНОВИХ ГЕНЕРАТОРІВ

3.1 Розрахунок та перевірка потужності головних двигунів методом кореляційних залежностей

Данна методика базується на наявності кореляційної залежності загальної встановленої потужності генераторів ($ПГ$) СЕЕС від потужності головних двигунів (N) або повної водотоннажності (B) для кожного типу судна. Ці кореляційні залежності (у вигляді рівнянь і графіків) використовують при розробці технічних завдань і технічних пропозицій на будівництво судів (при відсутності переліку приймачів електроенергії).

Значення потужності генераторів P_G , кВт для танкера у залежності від водотоннажності (B , тис. т) визначають згідно [1,2]:

$$P_G = 150 + 40B$$

Для даного судна сумарна встановлена потужність генераторів:

$$P_{\Gamma} = 150 + (40 \times 18,75) = 900 \text{ кВт}$$

У табл. 3.1 наведено кореляційні залежності активної потужності P у різних режимах роботи від установленної потужності генераторів P_{Γ} суднової електростанції.

Таблиця 3.1 – Кореляційна залежність споживаної активної потужності в різних експлуатаційних режимах

Тип судна	Стоянка без навантаження	Стоянка з навантаженням	Маневри	Ходовий режим	Аварійний ходовий режим
Танкер	$0.24 \cdot P_{\Gamma}$	$0.6 \cdot P_{\Gamma}$	$0.53 \cdot P_{\Gamma}$	$0.53 \cdot P_{\Gamma}$	$0.38 \cdot P_{\Gamma}$

Стоянка без навантаження:

$$P_{\text{С}} = P_{\Gamma} \cdot 0,24 = 900 \cdot 0,24 = 216 \text{ кВт}$$

Стоянка з навантаженням:

$$P_{\text{СН}} = P_{\Gamma} \cdot 0,6 = 900 \cdot 0,6 = 540 \text{ кВт}$$

Маневровий режим:

$$P_{\text{М}} = P_{\Gamma} \cdot 0,53 = 900 \cdot 0,53 = 450 \text{ кВт}$$

Ходовий режим:

$$P_{\text{Х}} = P_{\Gamma} \cdot 0,38 = 900 \cdot 0,38 = 450 \text{ кВт}$$

Аварійний ходовий режим:

$$P_A = P_{\Gamma} \cdot 0,38 = 900 \cdot 0,38 = 342 \text{ кВт}$$

Споживана потужність споживачів при різних експлуатаційних режимах наведена у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Споживана активна потужність в різних експлуатаційних режимах

Режим	Стоянка без навантаження	Стоянка з навантаженням	Маневри	Ходовий режим	Аварійний режим
Потужність, кВт	216	540	450	450	342

3.2 Розрахунок та перевірка потужності генераторної установки методом кореляційних залежностей

Для забезпечення електроенергією на всіх судах із дизельною установкою використовуються дизель-генератори. Вони вирізняються низкою переваг у порівнянні з іншими типами генераторів:

- висока ремонтпридатність, що спрощує обслуговування у морських умовах;
- високий коефіцієнт корисної дії (ККД) дизельного двигуна, що забезпечує ефективність енергетичної установки;
- готовність до швидкого запуску і прийому навантаження, що критично важливо в аварійних або динамічних умовах роботи судна;
- здатність працювати на доступному та економічному паливі середньої і високої в'язкості, що знижує експлуатаційні витрати;
- низька відносна маса, що дозволяє оптимізувати вагові характеристики судна.

Крім того, дизель-генератори забезпечують надійність і стабільність у роботі навіть в умовах підвищених механічних і кліматичних навантажень. Їх універсальність дозволяє використовувати як на сучасних вантажних суднах, так і на пасажирських, що вимагають більшого електропостачання через високу кількість споживачів.

Згідно з вимогами Регістру на судні повинно бути не менше двох одночасно працюючих генераторів, плюс один резервний, а так само один аварійний дизель-генератор з високонадійним пуском, який разом з розподільним щитом, паливною цистерною та іншим обладнанням розміщують в окремому приміщенні, що знаходиться вище рівня перегородок і має вихід на відкриту палубу. Рекомендується, щоб всі 3 генератори були однакової потужності, і завантаження кожного працюючого генератора в кожному режимі була б найбільш повною - не менше 75% від номінальної потужності.

Судна нового покоління потребують великої потужності генераторів через наявність на судні таких приймачів: електродвигуни механізмів, нагрівальні та освітлювальні прилади, засоби судноводіння і зв'язку. Основними елементами електростанції є: джерела енергії (первинні двигуни і генератори струму), розподільні пристрої й електрична мережа, потужність судових електростанцій становить 10-20% від потужності головних агрегатів.

На судні SHALLOW DRAFTTANKER встановлено три дизель-генератори потужністю 300 кВт. (табл. 3.3)

Таблиця 3.3 – Характеристики дизель-генератора Caterpillar C18

Виробник	Caterpillar
Тип	C18
Потужність, кВт	300
Швидкість, об/хв	1500

Паливо	MGO DMA
Система охолодження	Fresh water
Система запуску	електрична

Складаємо табл. 3.4 для вибору генераторів, у якій зазначена споживана активна потужність у різних експлуатаційних режимах, та коефіцієнт загрузки генераторів при різних експлуатаційних режимах.

Таблиця 3.4 - Кількість та потужність генераторів в різних режимах роботи

Найменування параметру	Режими роботи			
	Стоянка без навантаження	Стоянка з навантаженням	Маневровий режим	Ходовий режим
Споживана потужність, кВт	216	540	450	450
Кількість генераторів працюючих в даному режимі	1х300 кВт	3х300 кВт	2х300 кВт	2х300 кВт
Коефіцієнт загрузки генераторів $K_{зг}$	0,72	0,6	0,75	0,75

Коефіцієнт навантаження рахується за формулою:

$$K_{зг} = \frac{P}{\sum_{i=1}^n P_{нп}}$$

де P – фактична потужність;

$\sum_{i=1}^n P_{нп}$ – сума номінальних потужностей генераторів, працюючих у даному режимі, кВт.

Коефіцієнт навантаження в режимі стоянки без навантаження:

$$K_{3Г} = \frac{216}{300} = 0,72$$

Коефіцієнт навантаження в режимі стоянки при завантаженні:

$$K_{3Г} = \frac{540}{900} = 0,75$$

Коефіцієнт навантаження в маневреному режимі:

$$K_{3Г} = \frac{450}{600} = 0,75$$

Коефіцієнт навантаження в ходовому режимі:

$$K_{3Г} = \frac{450}{600} = 0,75$$

Для подачі електроенергії споживачам та установкам передбачені такі суднові мережі:

1. 400 В, 50 Гц (3 фази, без нейтралі) — для живлення силових споживачів.

2. 230 В, 50 Гц — для освітлення, малопотужних споживачів, суднового обладнання, навігаційного освітлення тощо через трансформатори.

3. 24 В постійного струму (DC) — для електростартерів, систем керування, сигналізації, навігаційного обладнання, радіопристроїв, аварійного живлення тощо.

3.3 Перевірка потужності аварійного дизель-генератора (АДГ)

3.3.1 Вимоги Регістру судноплавства України до аварійних джерел електричної енергії

На кожному самохідному судні повинне бути встановлене автономне аварійне джерело електричної енергії. Таке джерело не потрібне на судах, на яких основними джерелами електричної енергії є акумуляторні батареї, за умови, що, принаймні, одна із установлених батарей за ємністю і розташуванням відповідає вимогам, що ставляться до аварійного джерела.

Установлення аварійного джерела на несамохідних судах є предметом спеціального розгляду Регістром.

Як аварійне джерело може застосовуватися генератор або акумуляторна батарея.

Потужність аварійного джерела повинна бути достатньою для живлення всіх споживачів, одночасна робота яких потрібна для безпеки плавання у випадку аварії. На судах, де електрична енергія необхідна для підтримання руху, потужність аварійного джерела електричної енергії повинна бути достатньою для відновлення руху судна (разом з іншими механізмами, якщо це передбачається) протягом 30 хв після знеструмлення.

Повинна бути передбачена можливість перевірки в дії всієї аварійної установки разом із засобами автоматичного пуску дизель-генератора.

В центральному посту керування або на головному розподільному щиті повинний установлюватися показчик, що діє при розрядженні будь-якої акумуляторної батареї, яка є аварійним джерелом.

Аварійні джерела електричної енергії повинні мати захист тільки від коротких замикань.

Якщо аварійним джерелом є генератор, у центральному посту керування або на головному розподільному щиті повинна бути передбачена візуальна та звукова сигналізація про перевантаження генератора.

Аварійні джерела на вантажних судах повинні забезпечувати живлення таких споживачів:

- аварійного освітлення:

1. усіх коридорів, трапів і виходів із службових приміщень, а також у кабінах пасажирських ліфтів та їх шахтах;
 2. машинних приміщень, приміщень генераторних агрегатів;
 3. усіх постів керування, а також головного і аварійного розподільних щитів;
 4. приміщень аварійного дизель-генератора;
 5. рульової рубки;
 6. штурманської рубки і радіорубки;
 7. місць зберігання аварійного майна, пожежного інвентарю, спорядження пожежників і установа ручних пожежних оповісників;
 8. приміщення рульового приводу;
 9. біля пожежного і спринклерного насосів, аварійного осушувального насоса і місць установа пускових пристроїв цих механізмів;
 10. приміщеннях вантажних насосів; ангарів і посадкових місць для гвинтокрилів;
 11. приміщення гірокомпаса; медичних приміщень;
- сигнально-розпізнавальних ліхтарів, ліхтарів сигналу “Не можу керуватися” та інших ліхтарів, які вимагаються у частині III “Сигнальні засоби” Правил щодо обладнання морських суден;
 - засобів внутрішнього зв'язку та оповіщення, а також авральної сигналізації;
 - радіо- і навігаційного обладнання відповідно до вимог частин IV “Радіообладнання” і V “Навігаційне обладнання” Правил щодо обладнання морських суден, якщо аварійним джерелом енергії є дизель-генератор;
 - системи сигналізації виявлення пожежі;
 - ламп денної сигналізації, звукових сигнальних засобів (свистків, гонгів тощо), ручної сигналізації виклику та інших видів сигналізації, необхідних в аварійних станах;

- механізмів і пристроїв, зазначених у 3.2.1.2, 3.4.7, 3.7.3.7, 3.12 частини VI “Протипожежний захист”;

- електричних приводів водонепроникних дверей з їх показниками і попереджувальною сигналізацією;

- електричних приводів пристроїв, які утримують протипожежні двері

- інших систем, робота яких буде визнана Регістром необхідною для забезпечення безпеки судна і людей, що знаходяться на ньому.

Аварійні джерела на судах необмеженого й обмеженого району плавання R1 валовою місткістю 300 і більше повинні забезпечувати живлення споживачів, зазначених у 9.3.1.1–9.3.1.9, протягом 18 год.

Споживачі, зазначені в 9.3.1.3– 9.3.1.6, можуть житися від власних батарей, розташованих відповідно до 9.2, ємністю, достатньою для живлення цих споживачів протягом 18 год.

Якщо аварійним джерелом електричної енергії є генератор, він повинний:

- приводитися в дію двигуном внутрішнього згорання;

- пускатися автоматично при зникненні напруги в основній мережі, контрольованій на шинах аварійного розподільного щита, а також автоматично вмикатися на шини аварійного розподільного щита, а необхідні згідно з 9.3.1 споживачі повинні автоматично одержувати живлення від аварійного генератора.

- Загальний час пуску і приймання навантаження генератором не повинний перевищувати 45 с;

- якщо автоматичне вмикання аварійного агрегату відповідно до 9.3.4.2 не забезпечується протягом 45 сек, повинне бути передбачене аварійне перехідне джерело електричної енергії, що вмикається негайно при знеструмленні.

Як аварійне перехідне джерело електричної енергії необхідно застосовувати акумуляторну батарею, яка повинна працювати без підзарядження, при збереженні змін напруги до 12 % від номінальної протягом повного періоду розрядки.

Ємність батареї, що є перехідним джерелом електричної енергії, повинна бути достатньою для забезпечення протягом 30 хв живлення таких споживачів:

- освітлення і необхідних сигнально-розпізнавальних вогнів;
- усіх засобів внутрішнього зв'язку та оповіщення, необхідних в аварійних умовах;
- системи авральної сигналізації, сигналізації виявлення пожежі та сигналізації попередження про пуск системи об'ємного пожежогасіння;
- ламп денної сигналізації, звукових сигнальних засобів (свистки, гонги тощо).
- командного трансляційного пристрою відповідно до з/п.12 табл.2.3.4 частини IV “Радіобладнання” Правил щодо обладнання морських суден;
- пристроїв закриття водонепроникних дверей, сигналізації їх положення і попередження їх закриття;
- суднової системи охоронного повідомлення.

3.3.2 Перевірка потужності аварійного дизель-генератора (АДГ)

На судні танкері у якості аварійного джерела електроенергії використовується дизель-генератор Caterpillar, який забезпечує потужність 164 кВт при частоті обертання 1500 об/хв. Цей генератор працює на паливі типу MGO DMA та оснащений системою охолодження із застосуванням прісної води.

Запуск генератора здійснюється електричною системою, що забезпечує надійність і швидкість активації у разі виникнення аварійної ситуації. Аварійний дизель-генератор змонтований на основі, оснащений амортизаторами, що забезпечує зниження вібрацій і підвищує надійність роботи як самого агрегату, так і навколишнього середовища (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 - Характеристики аварійного дизель-генератора Caterpillar

Виробник	Caterpillar
----------	-------------

Тип	C7.1
Потужність, кВт	164
Швидкість, об/хв	1500
Паливо	MGO DMA
Система запуску	електрична

3.3.3 Перевірка акумуляторних батарей

У суднових електростанціях акумуляторні батареї (АКБ) резервують електричну енергію на випадок відключення генераторів, забезпечуючи при цьому енергією мережі аварійного освітлення:

- радіо- і телефонії;
- сигналізації;
- аварійного живлення систем дистанційного керування головними дизелями;
- рульового управління і станцій сигнальних вогнів;
- акумулятори використовуються також для стартерного пуску дизелів.

Застосування хімічних джерел струму (акумуляторів) викликано необхідністю мати постійно готовий до дії джерело енергії при аварійному режимі роботи суднової електростанції, а також для живлення електричних мереж, які потребують постійної напруги. [10]

Потужність малого аварійного освітлення та сигнально попереджувальних вогнів вказуємо як $P_{a.o.} = (0,75 \dots 1,0)$ кВт, а енергію для живлення цих приймачів на протязі 30 хвилин вказуємо як $W_{a.o.}$, Вт·г.

$$W_{a.o.} = P_{a.o.} \cdot 10^3 \cdot t$$

де: t час (год); $P_{a.o.}$ потужність малого аварійного освітлення та СПВ (Вт).

$$W_{a.o.} = 0.9 \cdot 10^3 \cdot 0.5 = 450 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Ємність акумуляторних батарей для живлення аварійного освітлення та сигнальних вогнів $C_{a.o.}$, A·год, при напрузі мережі аварійного освітлення $U_{a.o.}=24\text{В}$

$$C_{a.o.} = \frac{W_{a.o.}}{U_{a.o.}}$$

$$C_{a.o.} = \frac{450}{24} = 18.75 \text{ А} \cdot \text{год}$$

При розрахунку ємності, необхідної для пуску стартера, приймаємо вихідні дані згідно з технічними умовами аварійного дизель-генератора:

$$C_{ст} = \frac{I_{n.ст.} \cdot t_n \cdot n}{3600}$$

$$C_{ст} = \frac{1300 \cdot 3 \cdot 15}{3600} = 16.25 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Розрахуємо усю ємність, яка споживається споживачами електроенергії:

$$C_{o.n.} = C_{a.o.} + C_{ст}$$

$$C_{o.n.} = 18,75 + 16,25 = 35 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Середнє значення струму розрядки акумуляторної батареї при $t_p=0,5 \text{ год}$

$$I_{p.б.} = \frac{C_{o.n.}}{t_p}$$

$$I_{p.б.} = \frac{35}{0.5} = 70 \text{ А}$$

Так як час розрядження акумуляторної батареї менший за номінальний, вибір акумуляторів повинен бути заснованим на наступних умовах:

$$\frac{I_{p.b.}}{n} < I_{p.a.}$$

$$C_{н.а.} \cdot n \geq C_{o.n.}/K$$

$$U_{к.а.} \geq U_{min.\delta}$$

де $I_{p.a.}$ – струм розряду акумулятора, відповідний t_p , А;

n – кількість паралельно ввімкнених груп АКБ;

$U_{к.а.}$ – кінцева напруга акумулятора при розряді струмом $I_{p.a.}$ за час розряду t_p , В.

Виходячи з умов, наведених вище, розраховуємо струм розряду:

$$I_{p.a.} = \frac{I_{p.b.}}{n}$$

$$I_{p.a.} = \frac{70}{1} = 70 \text{ А}$$

Розраховуємо ємність акумуляторної батареї:

$$C_{н.а.} = \frac{C_{o.m.}}{(n \cdot k_1 \cdot k_2)}$$

$$C_{н.а.} = \frac{70}{(1 \cdot 0,8 \cdot 0,9)} = 97,2 \text{ А} \cdot \text{год}$$

На даному судні встановлено акумуляторні батареї типу Lead Acid Sealed фірми «Seun Electric» [11] з такими характеристиками – 24В, 100 А / год.

Розраховуємо реальний час розряду акумуляторної батареї

$$t = \frac{C_{н.а.}}{I_{p.a.}}$$

$$t = \frac{100}{70} = 1,43 \text{ год}$$

3.4 Висновки по розділу

1. Розрахунок та перевірка потужності головних двигунів здійснено методом кореляційних залежностей.
2. Метод базується на наявності кореляційної залежності загальної встановленої потужності генераторів СЕЕС від потужності головних двигунів або повної водотоннажності для кожного типу судна.
3. Для забезпечення електроенергією на судні «Shallow Draft Tanker» встановлено три дизель-генератори потужністю 300 кВт.
4. У якості аварійного джерела електроенергії на судні використовується дизель-генератор Caterpillar потужністю 164 кВт.
5. На судні встановлено акумуляторні батареї типу Lead Acid Sealed фірми «Seun Electric» з характеристиками – 24В, 100 А/год.
6. Розрахункові параметри складових елементів СЕЕС зведені в відповідні таблиці.

4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СЕЕС

4.1 Принципова електрична схема електричної системи судна

Суднова електроенергетична система (СЕЕС) є комплексом пристроїв, що забезпечує виробництво, перетворення, розподіл та споживання електроенергії для живлення суднових механізмів і приймачів. Вона складається з трьох основних елементів: суднових електростанцій, силової електричної мережі та мереж приймачів електроенергії. Суднова

електростанція є енергетичним комплексом, що включає генераторні агрегати (дизель-генератори, турбогенератори, валогенератори) та акумуляторні батареї, які підключені до головного розподільного щита (ГРЩ).

Джерела електроенергії класифікуються на основні, резервні та аварійні. Основні джерела забезпечують стабільну роботу в усіх режимах, резервні активуються для підтримки додаткової потужності, а аварійні призначені для екстрених ситуацій. Електроенергія від генераторів передається через силові мережі, що включають кабельні траси, розподільчі щити та захисну апаратуру. Автоматизовані системи керування забезпечують ефективну роботу СЕЕС, контролюючи процес генерації та розподілу електроенергії, а також швидко реагуючи на несправності чи перевантаження, автоматично активуючи резервні або аварійні джерела.

Сучасні вимоги до СЕЕС включають заходи з енергозбереження, дотримання екологічних стандартів і відповідність міжнародним нормам, таким як SOLAS і MARPOL. Регулярне технічне обслуговування, перевірка працездатності системи та оновлення обладнання є обов'язковими для забезпечення її надійності та безпеки.

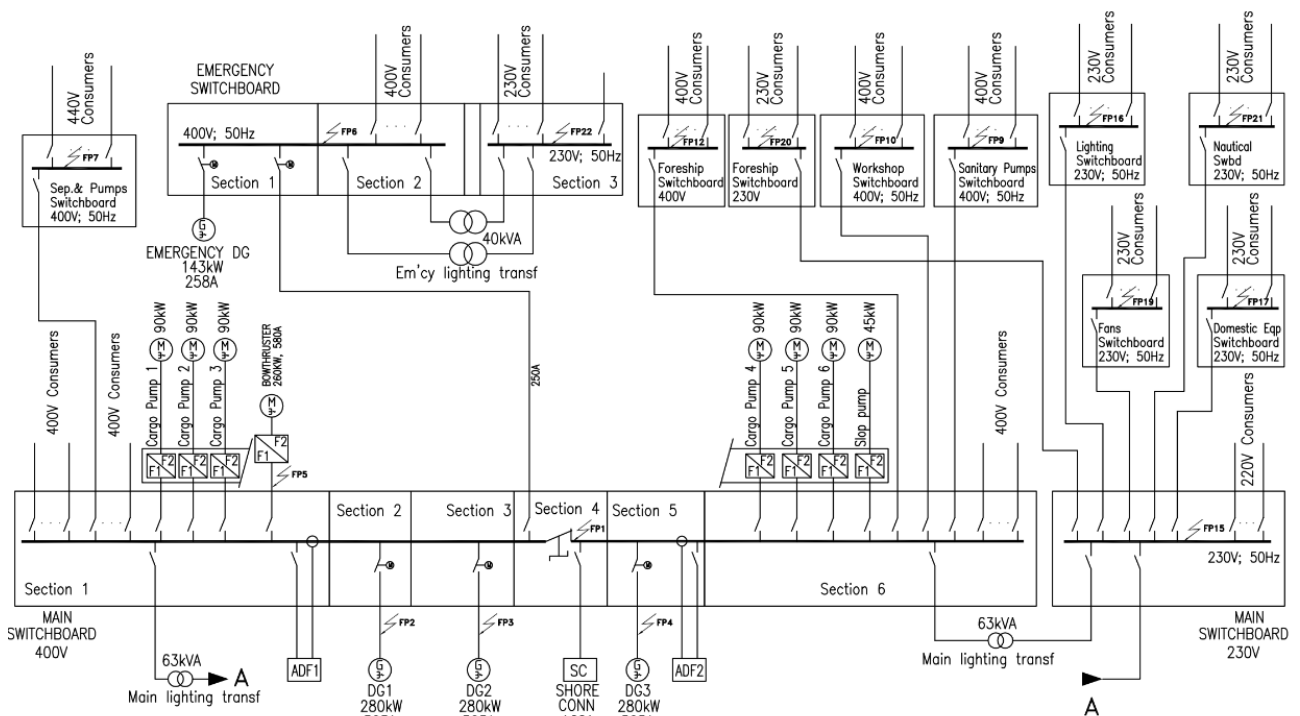


Рисунок 4.1 - Суднова електроенергетична система (СЕЕС)

4.2 Система збудження синхронного генератора

Без щітковий синхронний генератор (БСГ) складається з власне генератора і збудника. Роторна обмотка збудження генератора живиться від роторної трифазної обмотки збудника через обертовий трифазний випрямний міст. Стаціонарна статорна обмотка збудження в свою чергу живиться від статичної системи збудження.

Пристрій збудження і тиристорний регулятор напруги складають систему збудження THYRIPART.

Коли БСГ працює, результуюче магнітне поле індукує напругу в обмотці статора генератора. Частина цієї енергії, що генерується шунтується завдяки тиристорі, проходячи через систему збудження. Схема, що представляє збудження, утворює замкнутий контур управління шунтуючим пристроєм і імпульсно-фазовим управлінням тиристора.

- TWT – трансформатора з трьома обмотками;
- СТ - вимірювального струмового трансформатора для вимірювання навантаження генератора;
- V22 - головного тиристора;
- V102 - силового модуля;
- R101 - послідовного резистора;
- V101 - допоміжного тиристора;
- X1, X2, X4, X40 - контактних роз'ємів ТРН.

Система збудження являє собою систему амплітудно-фазового управління збудженням синхронного генератора, яке забезпечується компаундуючим трансформатором струму - СТ, пропорційно струму навантаження. Напруга генератора порівнюється з заданою напругою. Керуючий сигнал для відкриття тиристора формується в залежності від виду пилкоподібної напруги, одержуваної після порівняння і посилення напруги генератора. Результуючий струм збудження, інтенсивність якого вище, індуктується у номінальну напругу генератора. В цьому випадку ТРН неактивний: вихідна напруга генератора залежить тільки від струму збудження збудника, регульованого струмом навантаження.

4.3 Перевірочний розрахунок генераторних автоматів, кабелю та шин

4.3.1 Перевірка генераторних автоматів

Генераторні автомати забезпечують захист генераторів від струмів короткого замикання (КЗ), встановлюється він на ГРЩ.

Вибір типу автоматичного вимикача за умовою:

$$I_{\text{ном.а.}} \geq I_{\text{раб.}}$$

$$I_{\text{раб.}} = \frac{10^3 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}} \cdot \cos\varphi}$$

$$I_{\text{раб.}} = \frac{10^3 \cdot 300}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8} = 505 \text{ A}$$

де, $I_{\text{ном.а.}}$ - номінальний струм автомата;

$I_{\text{раб.}}$ - робочий струм,

P - номінальна потужність, кВт;

$U_{\text{ном.}}$ - номінальна напруга;

$\cos\varphi$ - номінальний коефіцієнт потужності.

Приймаємо робочий струм генератора рівним номінальному струму генератора. Для сучасних автоматичних вимикачів з електронними максимальними розщиплювачами, які отримують сигнал по струму від датчика струму вибирають датчик струму по номінальному струму, щоб виконувалась умова:

$$I_{\text{ном.а.}} \geq I_{\text{раб.}}$$

$$I_{\text{ном.а.}} \geq 505 \text{ A}$$

де $I_{\text{ном.а.}}$ - номінальний струм датчика струму.

Час спрацювання в зоні КЗ обираємо 0,4 секунди. Обираємо пристрій захисту генератора фірми «Schneider Electric» – ComPact NS630b, 630A, 3P (рис. 1.4).

4.3.2 Перевірочний розрахунок генераторного кабелю

Кабелі, прокладені паралельно для однієї і тієї ж фази або полюса, повинні бути одного типу, прокладатися разом та мати однаковий переріз не менше 10 мм² і однакову довжину.

Вибір площі перерізу кабелів залежить від допустимого падіння напруги.

Падіння напруги на кабелі, що з'єднує генератори з головним розподільчим щитом або аварійним розподільчим щитом, не повинно перевищувати 1%.

Падіння напруги між збірними шинами головного розподільчого щита

або аварійного розподільного щита і будь-якими точками установки в нормальних умовах роботи не повинно перевищувати 6% номінальної напруги. Для споживачів, які живляться від акумуляторної батареї з номінальною напругою до 50 В, ця величина може бути збільшена до 10%.

Для сигналізаційних і сигнальних ліхтарів може знадобитися зменшення падіння напруги до меншого значення, щоб забезпечити необхідні світлові характеристики.

За короткочасних навантажень, наприклад, при запуску електричних двигунів, можуть бути допущені значні падіння напруги, якщо це не спричинить порушення роботи суднової електроустановки.

Кабелі, які живлять електричні двигуни змінного струму з прямим запуском, повинні бути розраховані так, щоб падіння напруги на клеммах двигуна в момент запуску не перевищувало 25% номінальної напруги.

При перевірці генераторного кабелю звертають увагу на марку, кількість жил та площу поперечного перерізу жили. Також кабель перевіряють на падіння напруги.

Генераторний кабель слугує для підключення генератора типу HSJ7 719-4Р до ГРЩ. Визначаємо робочий струм генератора:

Кабель вибираємо по умові:

$$\frac{I_{\text{раб.}}}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4} \leq I_{\text{доп.}}$$

Визначаємо розрахункове значення струму кабелю:

$$I_{\text{розр.}} = \frac{I_{\text{раб.}}}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4}$$

При реальних умовах прокладки кабелю, визначаємо поправні коефіцієнти:

- коефіцієнт k_1 - враховує зміну умов прокладки кабелів,

генераторний

- кабель, як правило, прокладається окремо, тому, $k_1 = 1,0$;
- коефіцієнт k_2 - враховує зміну числа жил в кабелю (для трижильного кабелю $k_2 = 0,7$);
- коефіцієнт k_3 - враховує зміну режиму роботи (генератор працює в тривалому режимі S1, тому $k_3 = 1$);
- коефіцієнт k_4 - враховує відміну температури навколишнього середовища від нормованої 45°C (Приймаємо температуру в машинному відділенні рівній 35°C , тому $k_4 = 0,85$), отримуємо:

$$I_{\text{розр.}} = \frac{275}{1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,85} = 848 \text{ A}$$

Так як струм кабелю має велике значення, необхідно генератор під'єднати до ГРЩ трьома трьох жильними паралельно прокладеними кабелями. При цьому розрахунковий струм кабелю – $848/3 = 282.9 \text{ A}$

При знайденому значенні струму кабелю, користуючись таблицею 1.6 обираємо кабель з допустимою температурою 95°C , з перерізом 95 мм^2 і допускнуим струмом 300 A .

Обираємо кабель марки Nexans – 3х95.

Обраний кабель перевіряємо на допускну втрати напруги, для цього розраховуємо втрати напруги ($U, \%$) в кабелі на ділянці «ГРЩ - генератор».

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_a \cdot l}{\gamma \cdot S \cdot U} \cdot 100\%$$

де I_a - значення активної складової струму навантаження, A;

l - довжина кабелю, м;

γ - питома провідність міді, $= 48 \text{ м}/(\text{Ом} \cdot \text{мм}^2)$;

S - перетин жили, 25 мм^2 ;

U - лінійна напруга, $U = 400 \text{ В}$.

Приймаємо довжину кабелю рівною $l = 20 \text{ м}$, тоді:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 505 \cdot 20}{48 \cdot 3 \cdot 95 \cdot 400} \cdot 100\% = 0.03 \%$$

Таким чином, $\Delta U\% = 0,03\%$, що менше допускового значення згідно вимогам Правил Регістру на ділянці «ГРЩ – генератор» (1%).

4.3.3 Генераторні та збірні шини ГРЩ

При струмах до 3000 А застосовуються одно- і двох смугові шини. При великих струмах рекомендуються шини коробчастого перетину, так як вони забезпечують менші втрати від ефекту близькості і поверхневого ефекту, а також кращі умови охолодження.

Збірні шини і відгалуження від них до електричних апаратів $6\text{-}10 \text{ кВ}$ з провідників прямокутного або коробчастого профілю кріпляться на опорних фарфорових ізоляторах.

Основою вибору перерізу шин є величина, тривало – протікаючого по ним, робочого струму. Для генераторних шин приймаємо робочий струм рівним номінальному струму генератора:

$$I_{\text{роб.}} = I_{\text{ген.}} = 505 \text{ А}$$

При розрахунку робочого струму збірних шин ГРЩ враховуємо, що навантаження уздовж шин розподілена рівномірно, а умовна точка прийому електроенергії розташована в центрі шин. Робоче навантаження кожного із паралельно працюючих генераторів приймаємо рівній номінальній. Знаходимо значення, тривало–протікаючого по шинам, струму, $I_{\text{роб.}}$, А, з врахуванням 20% нерівномірності розподілення навантаження по формулі:

$$I_{\text{роб.}} = 0,6(I_{\text{ном.Г1}} + I_{\text{ном.Г2}} + I_{\text{ном.Г3}})$$

$$I_{\text{роб.}} = 0,6(505 + 505 + 505) = 909 \text{ A}$$

де, $I_{\text{ном.Г1}}$, $I_{\text{ном.Г2}}$, $I_{\text{ном.Г3}}$ - номінальні струму першого, другого, третього генераторів.

З врахуванням погіршення тепловіддачі щита в захисній оболонці, визначаємо значення розрахункового струму $I_{\text{розр.}}$.

$$I_{\text{розр.}} = 1.2 \cdot I_{\text{роб.}}$$

$$I_{\text{розр.}} = 1.2 \cdot 909 = 1090 \text{ A}$$

По значенню розрахункового струму визначаємо переріз мідних збірних шин ГРЩ прямокутного перерізу так, щоб виконувалась умова $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{розр.}}$.

Обираємо шини з перерізом 25 x 10 мм з допускним струмом 1300 А. Перевіряємо умову:

$$1300 \text{ A} > 1090 \text{ A}$$

4.4 Перевірка системи на робото-спроможність при короткому замиканні

4.4.1 Вихідна схема СЕЕС

В дипломній роботі виконується розрахунок ударних струмів КЗ суднової електроенергетичної системи змінного струму при трифазовому металевому короткому замиканні і перевірка апаратів на динамічну стійкість.

Вихідними даними для розрахунку слугує розрахункова схема електроенергетичної системи (рис. 4.3):

В схему входять три паралельно працюючих генератора, які забезпечують електроенергією судно в найбільш завантаженому режимі. На схемі вказано три генератора та їх потужності, а також довжини та переріз

кабелю і шин, автомати та всі інші елементи, опір яких буде враховуватися.

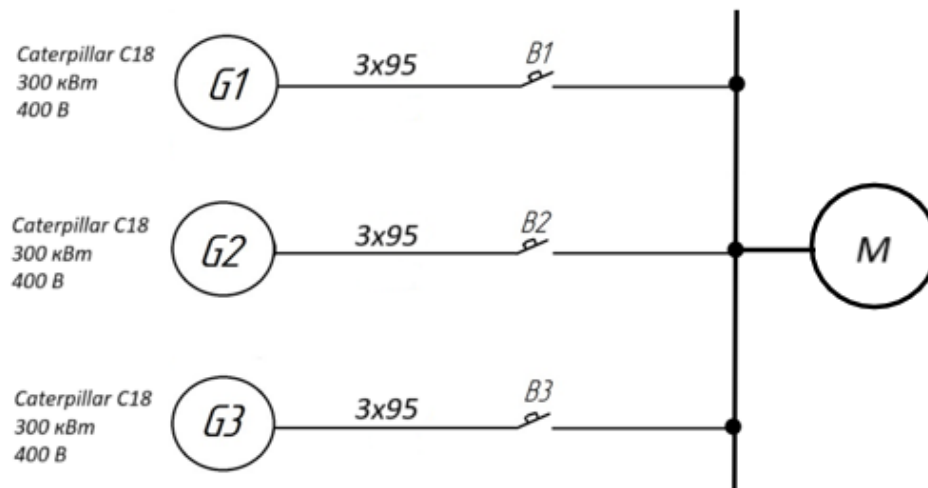


Рисунок 4.3 – Вихідна схема СЕЕС

4.4.2 Розрахунок струму короткого замикання генераторів

Номінальна потужність (коефіцієнт потужності = 0,8)	300 кВт
Напруга та частота	3x400 В, 50 Гц
Постійна часу перехідного процесу короткого замикання $T'd$	80,00 мс
Постійна часу субперехідного процесу короткого замикання $T''d$	19,00 мс
Постійна часу постійного струму обмотки якоря T_a	18,00 мс
Реактивність прямої осі в перехідному процесі $X'd$	0,17
Реактивність прямої осі у субперехідному процесі	0,12

$$\frac{S_n}{U_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{365}{400 \cdot \sqrt{3}} = 527 \text{ kA}$$

$$\frac{I_n}{X_d''} = \frac{0.527}{0.120} = 4.39 \text{ kA}$$

$$\frac{I_n}{X_d'} = \frac{0.527}{0.17} = 3.099 \text{ kA}$$

$$(I'' - I')_{no \text{ load}} = 4.390 - 3.099 = 1.291 \text{ kA}$$

$$T = 0.02$$

$$Sec. = 20 \text{ мс}$$

$$I_{rated\ road}'' = 1,1 \cdot I_{no\ load}''$$

Значення I_{ac} та I_{dc} як функції часу приведені в табл. 4.1 та табл. 4.2

Таблиця 4.1 – Значення I_{ac}

t, мс	$(I'' - I')e^{-t/T''}, kA$	$I_{no\ load}', kA$	$I_{ac\ rms, no\ load}', kA$	$I_{ac\ rotated\ load}', kA$
T = 0	$1.291 \cdot 1 = 1.291$	3.099	4.390	4.829
1/2T = 10	$1.291 \cdot 0.591 = 0.763$	3.099	3.862	4.248
T = 20	$1.291 \cdot 0.349 = 0.451$	3.099	3.55	3.905
3/2T = 30	$1.291 \cdot 0.206 = 0.266$	3.099	3.365	3.702
2T = 40	$1.291 \cdot 0.122 = 0.157$	3.099	3.256	3.582
3T = 60	$1.291 \cdot 0.043 = 0.0055$	3.099	3.154	3.469

Наявність постійної складової в момент t=0:

$$\sqrt{2} \cdot I'' = \sqrt{2} \cdot 4.390 = 6.209\ kA$$

Зменшується наступним чином:

$$I_{dc} = \sqrt{2} \cdot I'' e^{-t/T_{dc}}$$

$$T_{dc\ gen} = 18\ мс$$

Таблиця 4.2 – Значення I_{dc}

t, мс	I_{dc}
T = 0	$6.209 \cdot 1.000 = 6.209$
1/2T = 10	$6.209 \cdot 0.574 = 3.562$
T = 20	$6.209 \cdot 0.329 = 2.044$
3/2T = 30	$6.209 \cdot 0.189 = 1.173$
2T = 40	$6.209 \cdot 0.108 = 0.673$
3T = 60	$6.209 \cdot 0.036 = 0.221$

4.4.3 Максимально допустимий струм короткого замикання генераторів

Максимальне значення струму КЗ на шині ГРЩ (табл. 1.6, 1.7):

$$I_{peak\ max.} = \sqrt{2} \cdot I_{ac\ no\ load(\frac{1}{2T})} + I_{dc(\frac{1}{2T})}$$

$$I_{peak\ max.} = \sqrt{2} \cdot 3.862 + 3.562 = 9.024\ kA$$

4.4.4 Струм короткого замикання двигуна

Приймається один умовний двигун, безпосередньо підключений до шини головного розподільчого щита (ГРЩ), з номінальною потужністю, що становить 80% від потужності генераторів при їх паралельній роботі.

$$I_M = 0.8 \cdot I_{N(total)}$$

$$I_{N(total)} = I_{N(Gen.1)} + I_{N(Gen.2)} + I_{N(Gen.3)}$$

$$I_{N(total)} = 0.527 + 0.527 + 0.527 = 1.580\ kA$$

$$I_M = 0.8 \cdot 1.580 = 1.264\ kA$$

Ефективне значення змінної складової струму короткого замикання умовного двигуна в початковий момент часу.

$$I_M'' = 6.25 \cdot I_M$$

$$I_M'' = 6.25 \cdot 1.264 = 7.902\ kA$$

Змінна складова струму двигуна I_m' зменшується відповідно до функції часу.

$$I_{peak\ max} = 8 \cdot I_M$$

$$I_{peak\ max} = 8 \cdot 1.264 = 10.115\ kA$$

Таблиця 4.3 – Значення $I_{peak\ max}$ при різних рівнях загрузки

t	0	$\frac{1}{2} T$	T	$2T$
-----	-----	-----------------	-----	------

Загрузка	6.25	4	2.5	1
I_M, kA	7.9	5.05	3.16	1.26

4.4.5 Оцінка максимального струму короткого замикання на шинах ГРЩ

Приймається паралельний режим роботи генераторів.

$$I_{ac(total)} = I_{ac\ gen.} + I_{ac}$$

$$I_{ac\ gen.} = (4.248 + 4.248 + 4.248) + 5.0576 = 17.8\ kA$$

$$I_{peak} = I_{peak\ gen.} + I_{peak}$$

$$I_{peak} = (9.024 + 9.024 + 9.024) + 10.115 = 37.187\ kA$$

4.4.6 Запропоновані пристрої захисту для генераторів

Тип автоматичних вимикачів	NS630N
Номінальний струм, I	527 A
Діапазон уставок спрацьовування за тривалою затримкою, I_r	630 A
Діапазон уставок спрацьовування за короткою затримкою, I_m	(2-10) x I_r

4.5 Розрахунок провалів напруги в момент пуску найпотужнішого асинхронного електродвигуна СЕЕС

Як основне джерело електроенергії на судні прийнято три генератори трифазного струму, номінальною потужністю 300 кВт кожен, при напрузі 400 В, 50 Гц, при коефіцієнті потужності 0,8, з автоматичним регулюванням напруги і системою самозбудження, з приводом від дизелів.

Як аварійне джерело електроенергії на судні прийнято генератор трифазного струму, номінальною потужністю 164 кВт, при напрузі 400 В, 50 Гц, при коефіцієнті потужності 0,8, з автоматичним регулюванням напруги і системою самозбудження, з приводом від дизеля.

Відповідно до таблиці навантаження суднової електростанції найпотужнішими споживачами, які отримують живлення від генератора потужністю 300 кВт, є:

- електродвигун пожежного насоса потужністю 45 кВт;
- електродвигун вантажного насоса 75 кВт;
- електродвигун баластно-осушувального насоса 55 кВт;
- електродвигун підрулювального пристрою потужністю 230 кВт.

Таблиця 4.4 – Параметри генератора

Напруга, U	400 В
Потужність паралельно працюючих генераторів, P	300 кВт
Повна номінальна потужність генераторів, S_N	365 кВА
Повна потужність попереднього навантаження, S_p	149 кВа
Коефіцієнт потужності попереднього навантаження, $\cos\varphi_p$	0,8
Базисний опір, Z_B	0.44 мОм
Синхронний індуктивний опір поздовжньої осі, X_D	2,65
Синхронний індуктивний опір поперечної осі, X_q	2,28
Перехідний індуктивний опір поздовжньої осі, X'_d	0,17
Надперехідний індуктивний опір поздовжньої осі, X''_d	0,12
Надперехідний індуктивний опір поперечної осі, X''_q	0,33
Коефіцієнт магнітного зв'язку фаз статора і поперечного демпферного контуру, μ_q	0,8

Таблиця 4.5 – Параметри двигуна

	Пожарний насос	Насос грузовий	Баластний-осушний насос
Потужність двигуна, P_A	45 кВт	75 кВт	75кВт

Повна потужність двигуна, S_A	56,3 кВА	93,8 кВА	93,8 кВА
Номінальний коефіцієнт потужності, $\cos\varphi_d$	0,87	1,87	1,87
Номінальний струм, I_d	74,75 А	57,96 А	57,96 А
Кратність пускового струму, K_p	7	7	7

Розрахунок провал напруги:

- визначається повна провідність та коефіцієнт потужності двигуна у момент включення ($Y_{gn}, \cos\varphi_{gn}$);

- визначається повна, активна та реактивна провідність навантаження у відносних одиницях:

$$Y_g = Y_{gn} \cdot Z_b$$

$$g_g = Y_g \cdot \cos\varphi_{gn}$$

$$b_g = Y_g \cdot \sin\varphi_{gn}$$

- визначається повна провідність попереднього навантаження у відносних одиницях:

$$Y\delta = \frac{S_p}{S_n}$$

- визначається активна та реактивна провідність попереднього навантаження:

$$g_p = Y_p \cdot \cos\varphi_p$$

$$b_p = Y_p \cdot \sin\varphi_p$$

- визначається сумарна активна та реактивна провідності:

$$g_{n\Sigma} = g_g + g_p$$

$$b_{n\Sigma} = b_g + b_p$$

- визначається складові напруги генератора у вихідному статичному режимі:

$$U_{do} = \frac{x_q \cdot g_p}{\sqrt{(1 + x_q \cdot b_p)^2 + (x_q \cdot g_p)^2}}$$

$$U_{qo} = \frac{1 + x_q \cdot b_p}{\sqrt{(1 + x_q \cdot b_p)^2 + (x_q \cdot g_p)^2}}$$

- визначається складові струму статора та струм збудження генератора у вихідному статичному режимі:

$$i_{do} = g_p U_{do} + b_p U_{qo}$$

$$i_{qo} = \frac{U_{do}}{x_q}$$

$$i_{fo} = U_{qo} + x_d i_{do}$$

- розраховуються складові напруги генератора з урахуванням демпферних обмоток першого моменту після включення навантаження:

$$U_{d1} = \frac{x_q'' g_{n\Sigma} (i_{fo} - (x_d - x_d'') i_{do}) + (1 + x_d'' b_{n\Sigma}) \mu_q x_q i_{qo}}{(1 + x_d'' b_{n\Sigma}) (1 + x_q'' b_{n\Sigma}) + x_d'' x_q'' g_{n\Sigma}^2}$$

$$U_{q1} = \frac{(1 + x_q'' b_{n\Sigma}) (i_{fo} - (x_d - x_d'') i_{do}) - x_d'' g_{n\Sigma} \mu_q x_q i_{qo}}{(1 + x_d'' b_{n\Sigma}) (1 + x_q'' b_{n\Sigma}) + x_d'' x_q'' g_{n\Sigma}^2}$$

- визначається провал напруги генератора з урахуванням демпферних обмоток у перший момент після включення навантаження:

$$U_1 = \sqrt{U_{d1}^2 + U_{q1}^2}$$

$$\Delta U_1 = (U_1 - 1) \cdot 100\%$$

- розраховуються складові напруги генератора без урахування демпферних обмоток у перший момент після включення навантаження:

$$U_{d2} = \frac{x_q g_{n\Sigma} (i_{fo} - (x_d - x_d') i_{do})}{(1 + x_d' b_{n\Sigma}) (1 + x_q' b_{n\Sigma}) + x_d' x_q' g_{n\Sigma}^2}$$

$$U_{q2} = \frac{(1 + x_q' b_{n\Sigma}) (i_{fo} - (x_d - x_d') i_{do})}{(1 + x_d' b_{n\Sigma}) (1 + x_q' b_{n\Sigma}) + x_d' x_q' g_{n\Sigma}^2}$$

- визначається провал напруги генератора без демпферних обмоток у перший момент після включення двигуна:

$$U_2 = \sqrt{U_{d2}^2 + U_{q2}^2}$$

$$\Delta U_2 = (U_2 - 1) \cdot 100\%$$

- визначається максимальний провал напруги генератора при включенні асинхронного двигуна:

$$\Delta U = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2}{2}$$

Таблиця 4.6 – Результати розрахунків

	Пожарний насос	Насос грузовий	Баластний-осушний насос
Y_{gn}	0.44	0.44	0.44
$\cos\varphi_{gn}$	0.43	0.43	0.43
Y_g	1.04	0.81	0.81
g_g	0.45	0.35	0.35
b_g	0.94	0.73	0.73
$Y\delta$	0.41	0.41	0.41
g_p	0.33	0.33	0.33
b_p	0.24	0.24	0.24
$g_{n\Sigma}$	0.78	0.67	0.67
$b_{n\Sigma}$	1.19	0.98	0.98
U_{do}	0.43	0.43	0.43
U_{qo}	0.9	0.9	0.9
i_{do}	0.36	0.36	0.36
i_{qo}	0.19	0.19	0.19
i_{fo}	1.86	1.86	1.86
U_{d1}	0.39	0.40	0.40
U_{q1}	0.84	0.86	0.86
U_1	0.92	0.94	0.94
ΔU_1	-7.6 %	-5.7%	-7.4%

U_{d2}	0.36	0.38	0.38
U_{q2}	0.76	0.79	0.79
U_2	0.84	0.87	0.87
ΔU_2	-15.6%	-12.5%	-12.5%
ΔU	-11.6%	-9.1%	-9.1%

4.6 Висновки до розділу

1. В данному розділі була розроблена система електропостачання судна Shallow Draft Tanker, яка забезпечує ефективну і безпечну роботу всіх критичних електричних систем судна, зокрема навігаційного обладнання, систем освітлення, вентиляції, кондиціонування та інших допоміжних систем.
2. В розділі також виконано: аналіз енергетичної установки та її компонентів; розрахунок споживаної потужності та коефіцієнтів завантаження; вибір та розрахунок електричних компонентів; оцінка струмів короткого замикання та вибір пристроїв захисту; розрахунок провалів напруги та стабільність енергопостачання.
3. У результаті виконаних розрахунків та перевірок було встановлено, що система електропостачання судна Shallow Draft Tanker відповідає всім вимогам надійності, ефективності та безпеки, гарантуючи безперебійну роботу судових систем навіть у складних умовах експлуатації. Всі вибрані компоненти системи енергопостачання відповідають міжнародним стандартам і забезпечують ефективну роботу в усіх режимах експлуатації

5 ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ СУДНОВИХ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ

Синхронізація суднових синхронних генераторів (СГ) – процес їх ввімкнення на паралельну роботу між собою або між собою та мережею.

Для реалізації процесу синхронізації необхідне виконання наступних умов [1]: рівність частот генераторів (генераторів і мережі) $\omega_r = \omega_m$; рівність напруг генераторів (генераторів і мережі) $U_r = U_m$; рівність за фазою напруги генераторів (генераторів і мережі) U_r, U_m в моменти ввімкнення вимикача синхронних СГ.

Синхронізацію можна здійснювати в ручному, напівавтоматичному та автоматичному режимах.

В ручному режимі весь процес синхронізації контролюється персоналом, який здійснює регулювання частоти обертання приводного двигуна, напруги генератора і вмикає вимикач СГ за умови виконання вищезазначених умов.

В напівавтоматичному режимі робота пристроїв автоматики може частково корегуватися персоналом.

Автоматична синхронізація не передбачає втручання людини (персоналу) і виконується синхронізаторами з системами автоматичного керування. Останні контролюють режими первинного двигуна, СГ, вимикачів та розподіляють навантаження при паралельній роботі генераторів із забезпеченням їх захисту

Невірна синхронізація СГ може вивести з ладу обладнання генераторного агрегату за наступних умов [4]:

а) при замиканні вимикача СГ виникає надмірний струм ввімкнення, обумовлений розбіжністю напруг ΔU між напругою генераторів (генераторів і мережі);

б) при надмірній різниці частот СГ і мережі, генератор після ввімкнення «випадає» з синхронізму.

5.1 Типи синхронізації

При паралельній роботі суднових СГ кількість споживачів електричної енергії живляться в певний момент часу від суднової мережі і ступінь їх завантаження відповідають режимам експлуатації судна (стоянка, хід, маневрування, навігаційних обставинам, району плавання).

Отже, рівень і характер навантаження СГ у складі суднових електростанцій можуть змінюватися в широких межах. Якщо за таких умов орієнтуватися на використання одиничного СГ, то його потужність має бути більшою (із певним запасом), ніж сумарна потужність споживачів електроенергії в найбільш завантаженому режимі роботи суднової електроенергетичної системи (СЕЕС). Робота в паралельному режимі дозволяє резервувати потужність СГ, виводити окремі СГ з експлуатації для огляду, обслуговування, ремонту без порушення роботи споживачів в СЕЕС.

При аварії одного з паралельно працюючих СГ його навантаження автоматично перерозподіляється на інші працюючі генератори. Таким чином, паралельна робота СГ забезпечує безперервність технологічного процесу виробництва електроенергії і таким чином підвищує надійність електричного живлення суднових споживачів.

В ідеальному випадку підключення СГ на паралельну роботу з іншими джерелами електроенергії його струм в момент ввімкнення дорівнює нулю. Це можливе за умов рівності напруг і частот генераторів, що підключаються в паралель; напруг і частот генераторів, які працюють на шини головного розподільного щита (ГРЩ) СЕЕС. Таким чином досягається синхронна робота генераторів. На практиці процес ввімкнення СГ на паралельну роботу прийнято називати синхронізацією [2].

Існує три варіанти уведення СГ в паралельну роботу: способи точної, грубої, самосинхронізації. При точній синхронізації підключення СГ відбувається при струмі, близькому до нульового значення. Струм ввімкнення при грубій синхронізації СГ зазвичай близький до номінального значення. При самосинхронізації СГ струм ввімкнення перевищує номінальний у декілька разів [2]. На рис.5.1,а, рис. 5.1,б представлені відповідно схема і векторна діаграма напруги для точної синхронізації СГ [1].

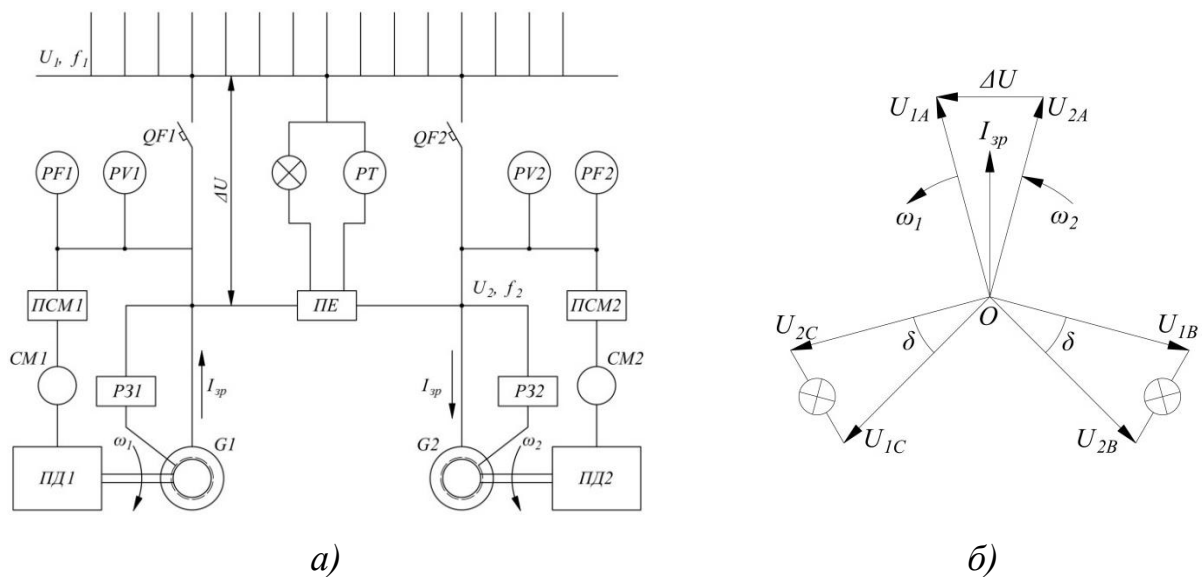


Рисунок 5.1 – Точна синхронізація СГ: *а* – схема синхронізації, *б* – векторна діаграма напруг при точній синхронізації

Особливості ввімкнення генератора G2 на паралельну роботу з генератором G1 за цією схемою детальніше.

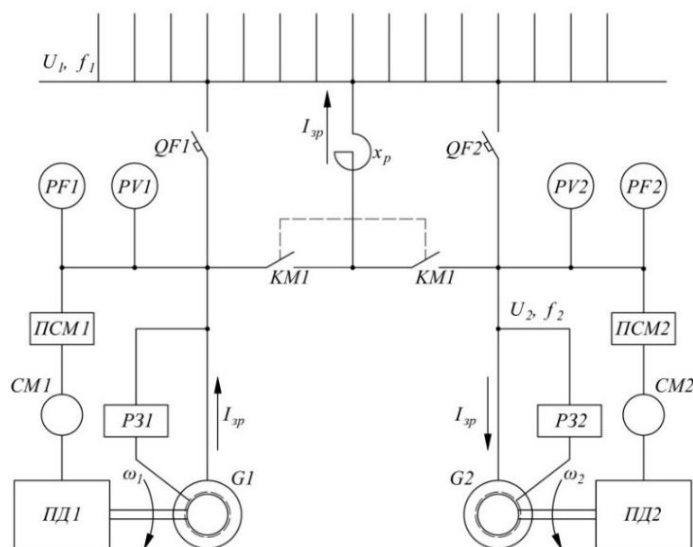


Рисунок 5.2 – Схема грубої синхронізації СГ

Такий спосіб грубої синхронізації (рис. 5.2) не забезпечує ідеальні умови ввімкнення генераторів на паралельну роботу. При ввімкненні

генераторів передбачається певний стрибок струму, величина якого обмежується індуктивним опором (реактором) x_p .

При грубій синхронізації [1], на відміну від точної, ввімкнення СГ на паралельну роботу відбувається за наявності кута зсуву фаз δ між напругами U_1 і U_2 , що зв'язано зі стрибком зрівнювального струму $I_{зр}$ між генераторами під дією геометричної різниці цих напруг ΔU

$$I_{зр} = \frac{\Delta U}{x_1 + x_2 + x_p}$$

На рис. 5.3 представлена схема самосинхронізації СГ. Спосіб самосинхронізації генераторів можна використовувати лише в СЕЕС, де відхилення напруги мережі тривалістю в декілька секунд не впливають критично на роботу споживачів електроенергії.

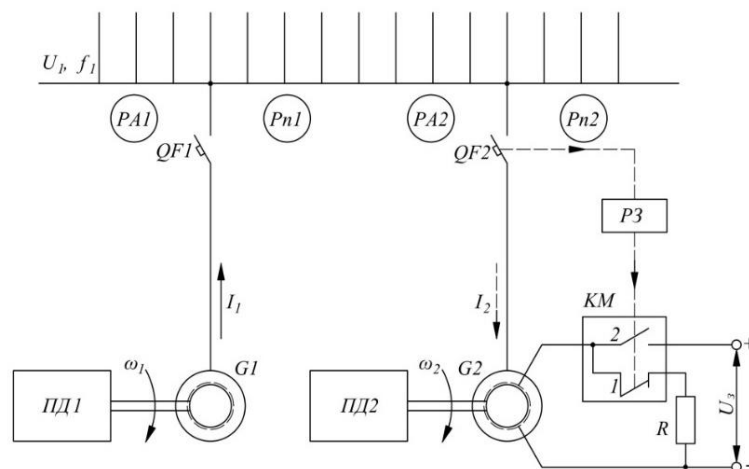


Рисунок 5.3 – Схема самосинхронізації СГ

Ввімкнення навантажених генераторів на паралельну роботу можна здійснювати тільки способами точної або грубої синхронізації. Перед ввімкненням СГ на паралельну роботу, особливо після їх ремонту або заміни, необхідна обов'язкова перевірка вірності чергування фаз. Ввімкнення

генератора G2 на паралельну роботу з генератором G1 детальніше описано в [1].

Призначення і класифікація систем автоматичної синхронізації

Задачею системи автоматичної синхронізації СГ є створення керуючих впливів на приводні двигуни, системи збудження і комутаційну апаратуру генераторів для їх підключення на паралельну роботу.

Оптимальним для ввімкнення генератора на паралельну роботу є момент проходження кута δ через нуль. Це означає, що синхронізатор має генерувати імпульс на ввімкнення вимикача СГ з деяким випередженням часу $t_{\text{вип}}$ [4]. Точна синхронізація виконується при: $\delta = 0$, $f_{\Gamma} = f_{\text{м}}$ і $U_{\Gamma} = U_{\text{м}}$, але на практиці абсолютно точне вирівнювання частот СГ непотрібне. Синхронізація допускається при різності частот $f_s = 0,2 - 0,3$ Гц або при ковзанні $\omega_s = 1,2 - 1,9$ рад/с [15]. Якщо синхронізація проходить з розрахунковим ковзанням $\omega_{s_{\text{доп}}} = \text{const}$, то $\delta_{\text{вип}} \equiv t_{\text{вип}}$, де $t_{\text{вип}}$ – час випередження; δ – кут випередження.

Отже, для того, щоб контакти вимикача замикались в момент, коли кут $\delta = 0$, автоматичний синхронізатор може створювати випередження або за часом $t_{\text{вип}}$, або за кутом $\delta_{\text{вип}}$. Синхронізатори з постійним часом випередження $t_{\text{вип}}$ вигідно відрізняються від синхронізаторів з постійним кутом випередження, через що й отримали найбільше поширення.

5.2 Цифровий автоматичний синхронізатор SYNCHROTAСТ

Схема і параметри мікропроцесорного пристрою автоматичної синхронізації фірми ABB «SYNCHROTAСТ» наведені на рис. 5.4 [6].

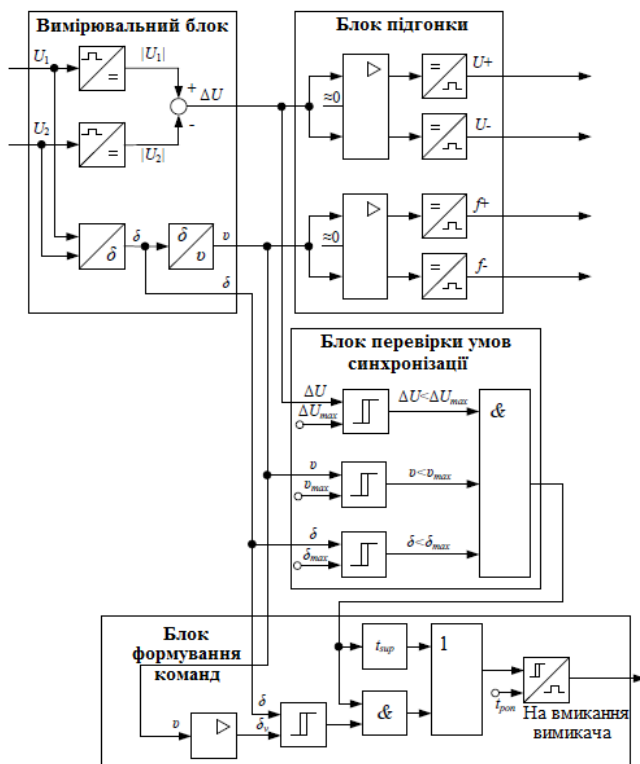


Рисунок 5.4 – Функціональна схема «SYNCHROTACTION»

Таблиця 5.1 – Параметри синхронізації «SYNCHROTACTION»

Параметр	Крок	Припустимі значення
Відносна швидкість	0,01%	0-6%
Відносний кут	1°	0-40°
Різниця напруг за абсолютним значенням	1%	0-40%
Повний час синхронізації	30 с	0,5-15 хв

З табл. 5.1 зрозуміло, що «SYNCHROTACTION» передбачає можливість регулювання параметрів синхронізації в припустимих межах.

При незадовільних параметрах синхронізації (розбіжність із заданими уставками) здійснюється видача імпульсних керуючих впливів на автоматичні регулятори збудження (АРЗ) і частоти (АРЧО) СГ. Тривалості імпульсів керування змінні і пропорційні величинам різниці напруг і відносної швидкості обертання СГ. Коефіцієнт пропорційності може бути заданий в межах 0,01%/с – 5%/с. Можливий також варіант встановлення фіксованої тривалості імпульсу від 0,05с – 2с. Інтервал між імпульсами і мінімальна тривалість імпульсу можуть бути встановлені в межах 1с – 20с, 0,05с – 2с відповідно.

Коли відносний кут розбіжності фаз досягає значення δ_v , що відповідає часу, необхідному для замикання контактів вимикача, здійснюється видача команди на ввімкнення вимикача СГ.

Команда на ввімкнення може бути сформована в тому випадку, коли умови синхронізації СГ виконуються протягом заданого проміжку часу. Позначене дозволяє уникнути затримок і затягування процедури синхронізації у випадку достатньо малих величин відносного прискорення.

5.3 Розробка структури ЕСАС ССГ

Узагальнена структурна схема ЕСАС ССГ

У якості прототипу для удосконалення і подальшого дослідження ЕСАС ССГ обрано систему синхронізатора «SYNCHROTAСТ». Спрощена структура розроблюваної ЕСАС ССГ наведена на рис. 2.5.

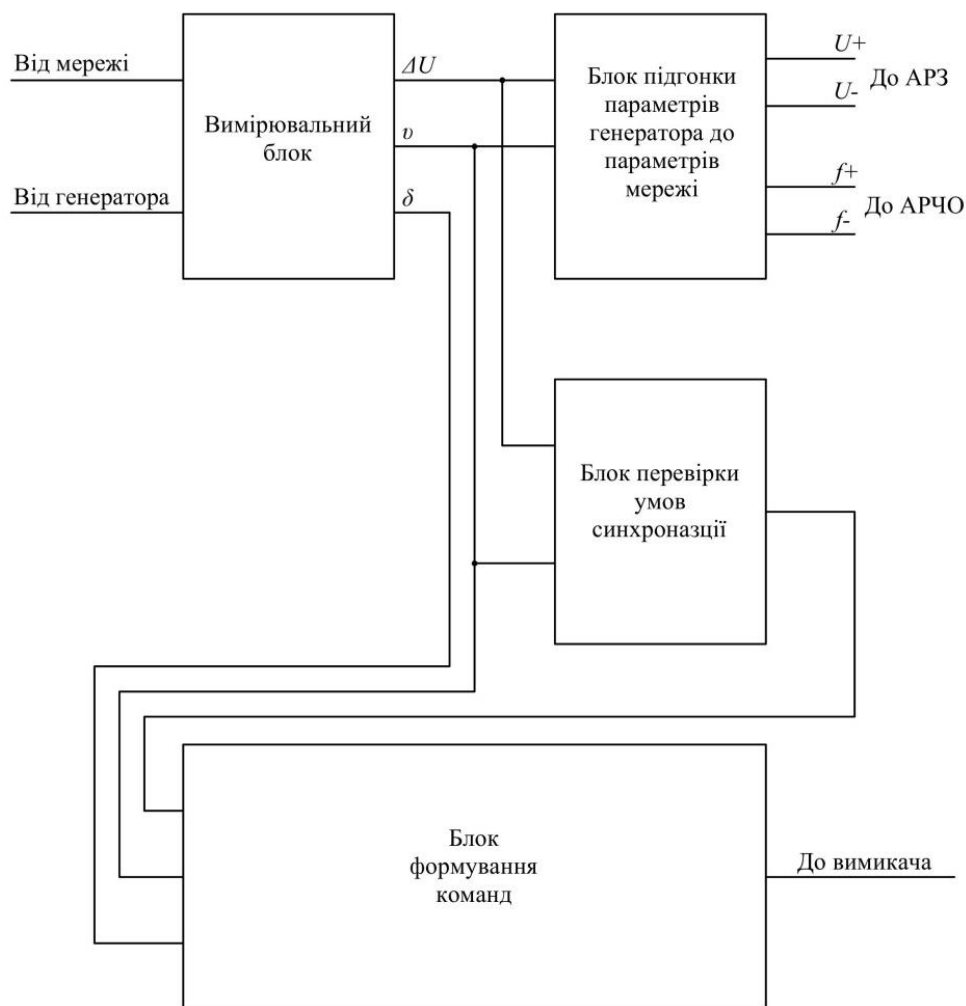


Рисунок 2.5 – Структурна схема ЕСАС ССГ

Система шляхом впливу на АРЗ і АРЧО СГ здійснює підгонку параметрів генератора до необхідних із заданою похибкою. При виконанні

умов синхронізації ЕСАС ССГ видає сигнал на ввімкнення автоматичного вимикача СГ.

Вимірювальний блок

Структурна схема вимірювального блоку представлена на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 – Структурна схема вимірювального блоку

Вимірювальний блок призначено для вимірювання контрольованих параметрів мережі і СГ. Інформація про стан параметрів надходить до інших блоків ЕСАС ССГ.

Блок підгонки параметрів СГ до параметрів мережі

Структурна схема блоку підгонки параметрів СГ до параметрів мережі зображена рис. 2.7.



Рисунок 2.7 – Структурна схема блоку підгонки параметрів СГ до параметрів мережі

Блок підгонки параметрів СГ до параметрів мережі призначено для формування сигналів керування АРЗ та АРЧО. Така процедура необхідна для зменшення різниці напруг і частот СГ (СГ і мережі) в припустимих межах.

Блок перевірки умов синхронізації

Структурна схема блоку перевірки умов синхронізації наведена на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 – Структурна схема блоку перевірки умов синхронізації

Блок перевірки умов синхронізації порівнює значення різниці напруг та частот з максимально припустимими (за умовами синхронізації) значеннями і формує сигнал дозволу, що надходить до блоку формування команд.

Блок формування команд

Структурна схема блоку формування команд наведена на рис. 2.9.

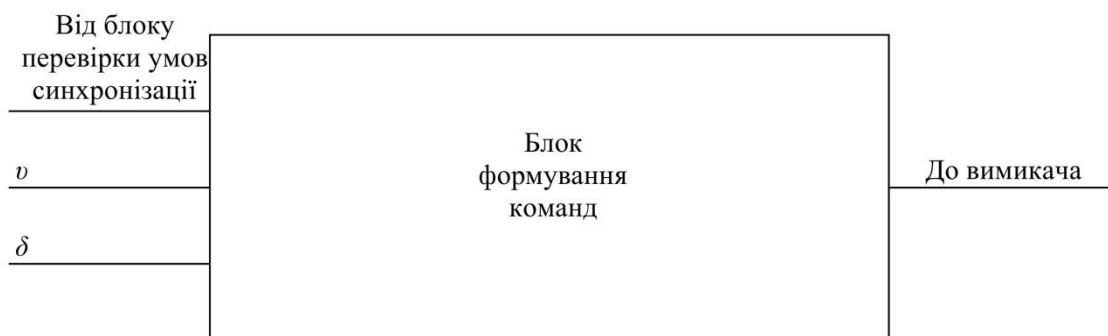


Рисунок 2.9 – Структурна схема блоку формування команд

При надходженні сигналу дозволу блок формування команд розраховує значення кута випередження і подає сигнал на ввімкнення вимикача СГ при досягненні кутом зсуву фаз СГ (СГ і мережі) значення кута випередження.

Формування вимог до складових узагальненої структури ЕСАС ССГ

Вимоги до складових узагальненої структури ЕСАС ССГ визначаються припустимими значеннями відхилень параметрів СГ від параметрів мережі.

Складові системи синхронізації мають забезпечувати ввімкнення СГ при відхиленнях параметрів генератора менших за параметри мережі ($\Delta U = \pm 5\%$; $\nu = \pm 0,05 - 0,1$ Гц; $\delta = 10^\circ$).

5.4 Розрахунки та проектування елементів ЕСАС ССГ

5.4.1 Елементи вимірювального блоку

Схемотехнічна реалізація двоканального вольтметра

Принцип дії вольтметра засновано на використанні модулю аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера ATmega640 [11]. Максимальна напруга, яку можна виміряти за його допомогою, залежить від джерела опорної напруги мікроконтролера і не може перевищувати 5В. Тому використовуємо дільний напруги для зменшення напруги СГ до необхідного рівня і випрямляч для перетворення його змінної робочої напруги у постійну вимірювану (рис. 5.10, а,б) [9].

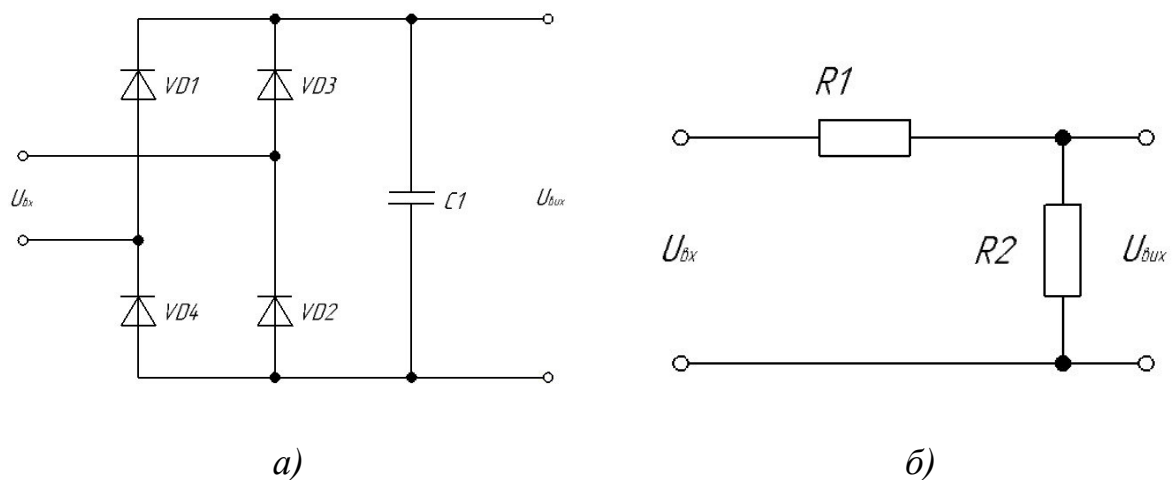


Рисунок 5.10 – Допоміжні складові для реалізації двоканального вольтметра:

а – мостовий випрямляч ; б – дільний напруги

Вихідна напруга холостого ходу схеми (рис. 5.10,а) визначається:

$$U_{\text{вих хх}} = \sqrt{2} \cdot U_{\text{вх д}} - 2 \cdot U_{\text{Д}},$$

де $U_{\text{вих хх}}$ – вихідна напруга холостого ходу, В; $U_{\text{вх д}}$ – діюче значення вхідної напруги, В; U_D - падіння напруги на діоді, В.

Приймаємо падіння напруги на діоді рівним

$$U_D = 0,6 \text{ В.}$$

При вихідній напрузі $U_{\text{вих хх}} = 5 \text{ В}$, вхідна напруга має дорівнювати

$$U_{\text{вх д}} = \frac{U_{\text{вих хх}} + 2 \cdot U_D}{\sqrt{2}},$$

$$U_{\text{вх д}} = \frac{5 + 2 \cdot 0,6}{\sqrt{2}} = 4,384 \text{ В.}$$

На виході випрямляча присутня напруга пульсації. Приймаємо її рівною

$$U_{\text{BrSS}} = 0,01 \text{ В.}$$

Ємність конденсатора згідно з [8]

$$C_1 = \frac{I_{\text{вих}}}{2 \cdot U_{\text{BrSS}} \cdot f_N},$$

де $I_{\text{вих}} = 0,5 \text{ мА}$ – вихідний струм, А; $f_N = 60 \text{ Гц}$ – частота вхідної напруги в схемі.

$$C_1 = \frac{0,0005}{2 \cdot 0,01 \cdot 60} = 0,000417 \text{ Ф} = 417 \text{ мкФ}$$

Вихідна напруги схеми відповідає

$$U_{\text{вих}} = k \cdot U_{\text{вх}},$$

$$k = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Оскільки вихідна напруга дільника є вхідною напругою для випрямляча, то

$$k = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{4,384}{500} = 0,00877.$$

Приймаємо $R_2 = 1$ кОм.

$$\text{Отже } R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вих}}} - 1 \right) = 1000 \cdot \left(\frac{500}{4,384} - 1 \right) = 113000 \text{ Ом} = 113 \text{ кОм}.$$

Схема двоканального вольтметра зображена на рис. 5.11.

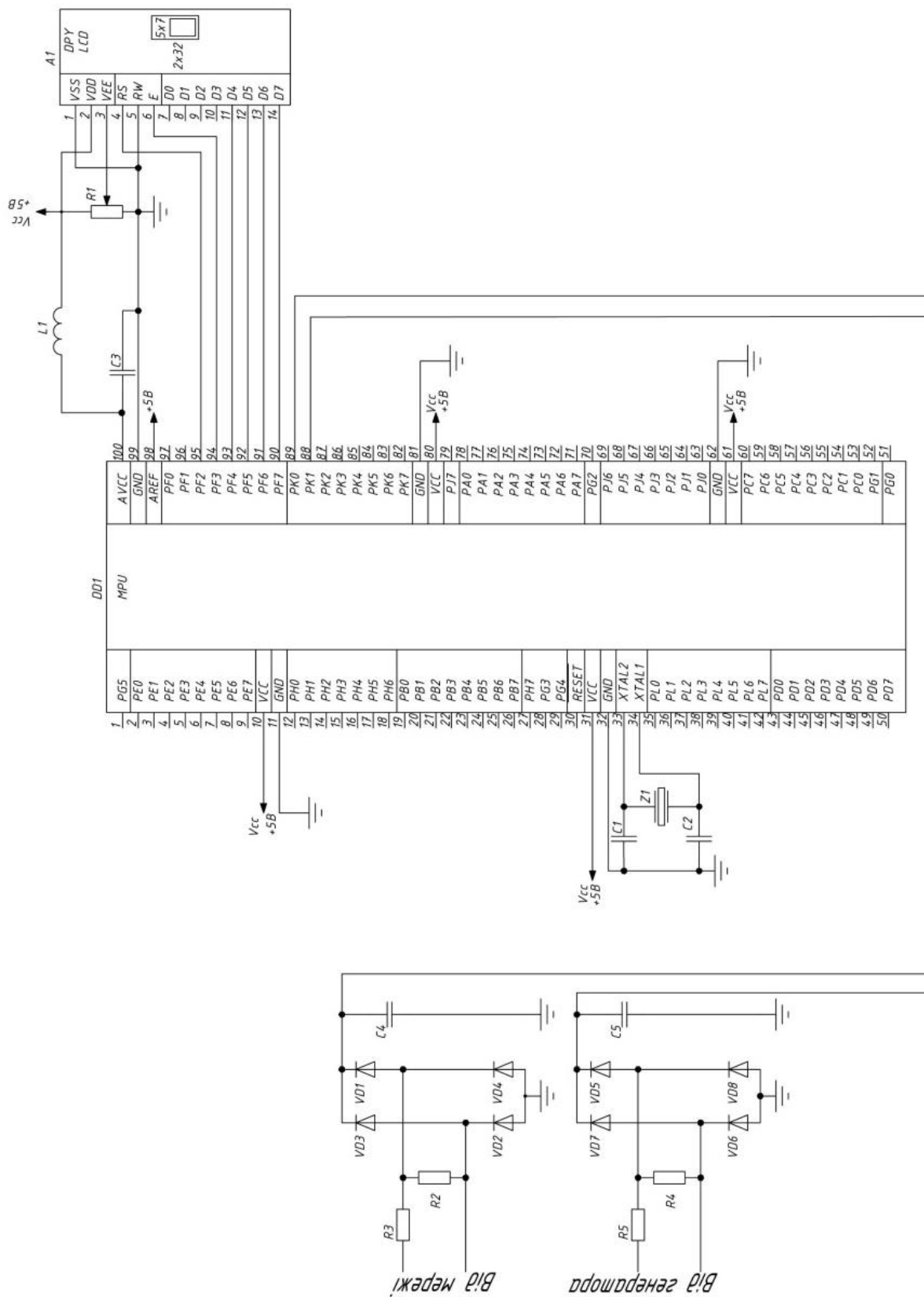


Рисунок 5.11 – Двоканальний вольтметр на базі мікроконтролера АТmega640 у складі ЕСАС ССГ

Напруги мережі і СГ після дільників та випрямлячів потрапляють до виводів PK0 і PK1 мікроконтролера АТмега640. Для формування опорної напруги використовується зовнішнє джерело, підключене до виводу AREF мікроконтролера.

Схемо технічна реалізація двоканального частотоміру

Принцип вимірювання частоти СГ і мережі засновано на процедурі підрахунку мікроконтролером часу між двома передніми фронтами вимірювальних імпульсів. Отже, для забезпечення можливості визначення частоти напруги СГ і мережі мікроконтролером, необхідна попередня обробка вхідного вимірювального сигналу за допомогою інвертуючого тригера Шмідта (рис 5.12, а) [10].

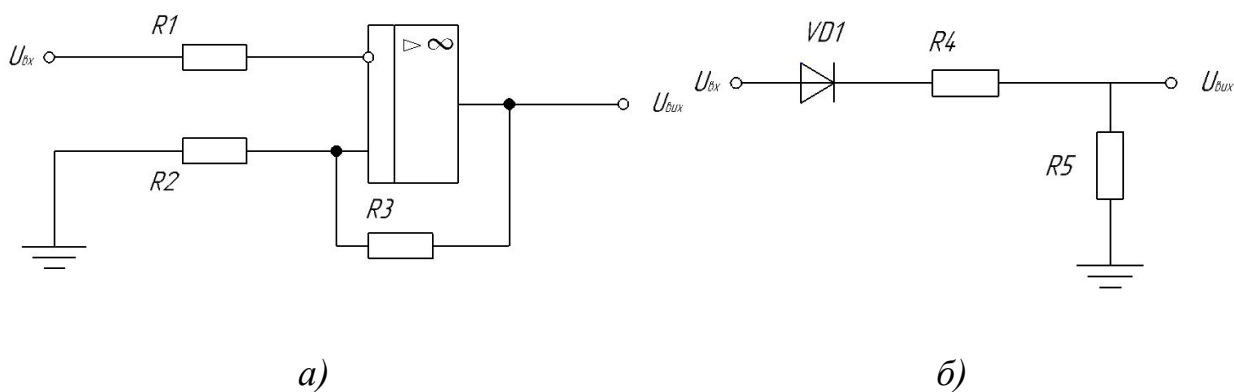


Рисунок 5.12 – Допоміжні складові для реалізації двоканального частотоміру:
 а – схема інвертуючого тригера Шмідта; б – схема обмежувача напруги

Опори R1, R2 та R3 (рис. 5.12, а) визначають напруги вмикання, вимикання та гістерезис спрацьовування тригера. Приймаємо їх рівними R1=R2=R3=10кОм. Оскільки вихідна напруга інвертуючого тригера Шмідта обмежується напругою насичення $\pm 13\text{В}$, а на мікроконтролер необхідно подавати прямокутні імпульси з амплітудою 5 В, виникає необхідність застосування обмежувача напруги (рис. 5.12, б).

Вихідна напруга схеми (рис. 5.12, а)

$$U_{\text{вих}} = (U_{\text{вх}} - U_D) \cdot \frac{R_5}{R_4 + R_5}$$

Приймаємо $R_5 = 1 \text{ кОм}$.

Оскільки $U_{\text{ВХ}} = 13\text{В}$, а $U_D = 0,6\text{В}$, то

$$R_4 = \frac{R_5 \cdot (U_{\text{ВХ}} - U_D)}{U_{\text{ВНХ}}} - R_5 = \frac{1000 \cdot (13 - 0,6)}{5} - 1000 = 1480 \text{ Ом}.$$

Схема двоканального частотоміра зображена на рис. 5.13.

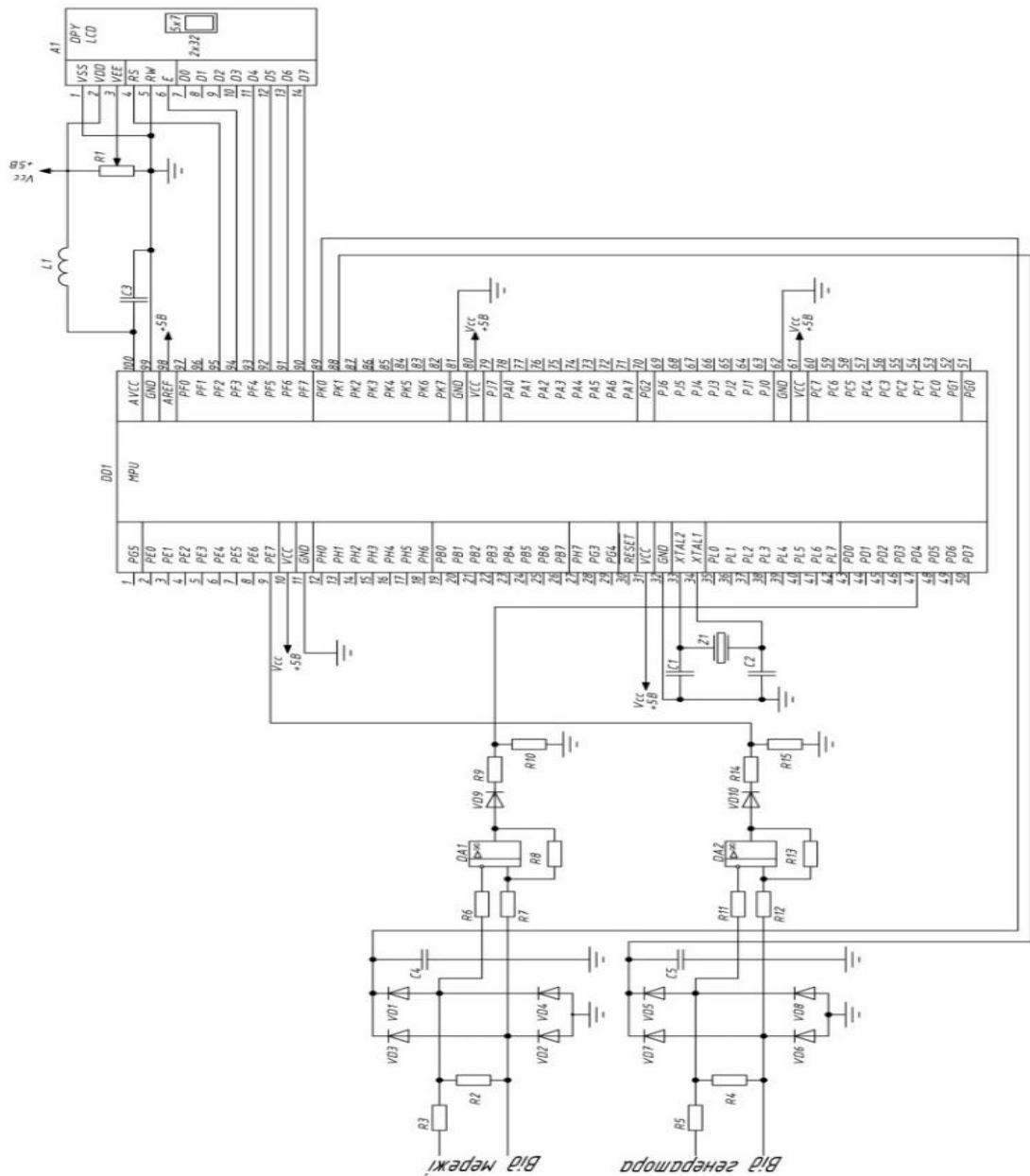


Рисунок 5.13 - Схема двоканального частотоміра.

Схемо технічна реалізація фазометра

Принцип дії фазометра заснований на визначенні ширини імпульсу, сформованого логічним елементом «Виключаюче «АБО»», на вхід якого подаються прямокутні імпульси, що відповідають синусоїдальним напругам мережі та СГ. Схема фазометра зображена на рис. 5.14.

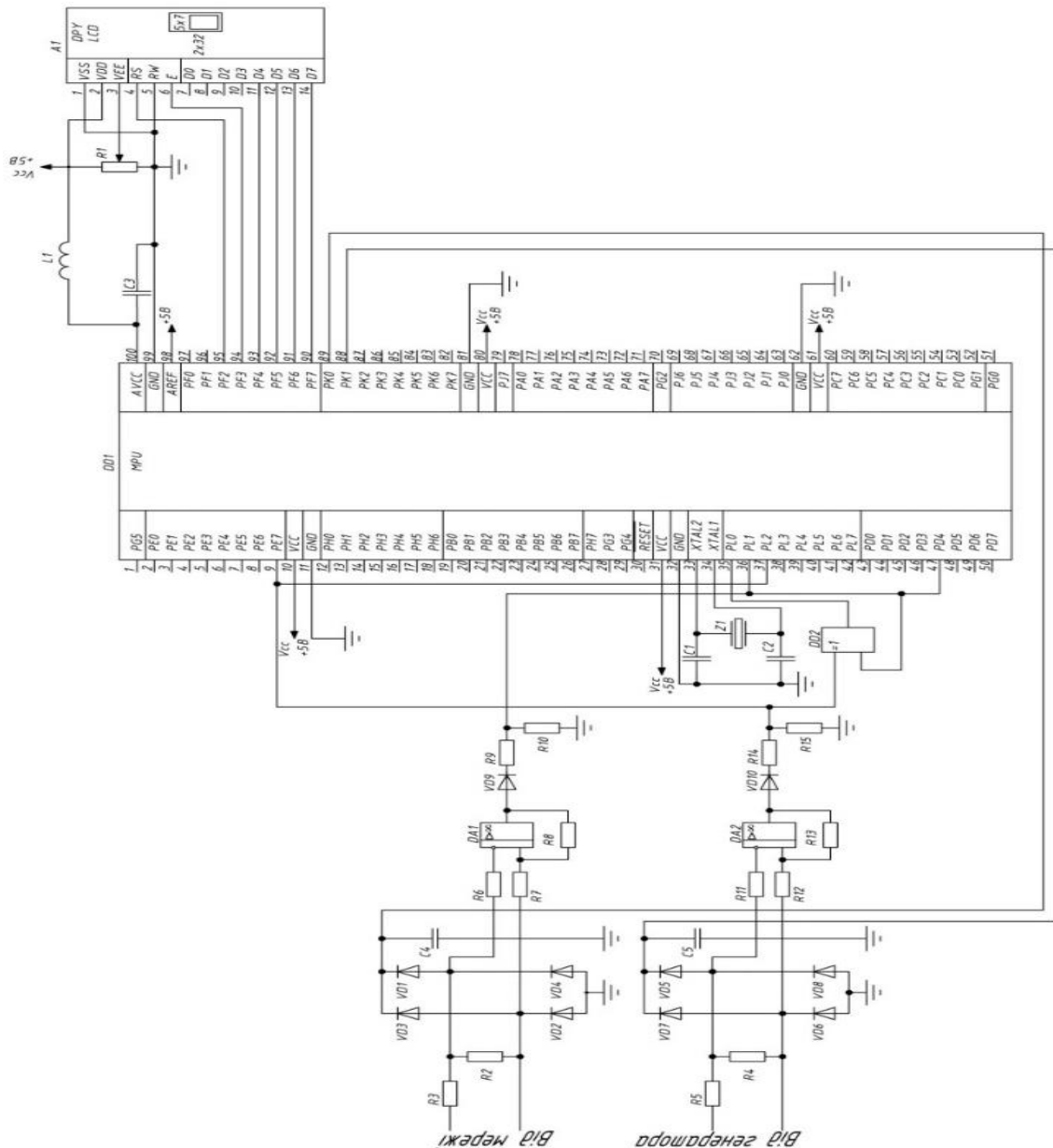


Рисунок 5.14 - Схема фазометра.

5.4.2 Схемо технічна реалізація блоку підгонки параметрів генератора до параметрів мережі

Блок підгонки параметрів СГ до параметрів мережі реалізує визначення різниці напруг і частот та генерує сигнали керування, які надходять до АРЗ

[illegible]

5.4.3 Схемо технічна реалізація блоку перевірки умов синхронізації

80

5.16.

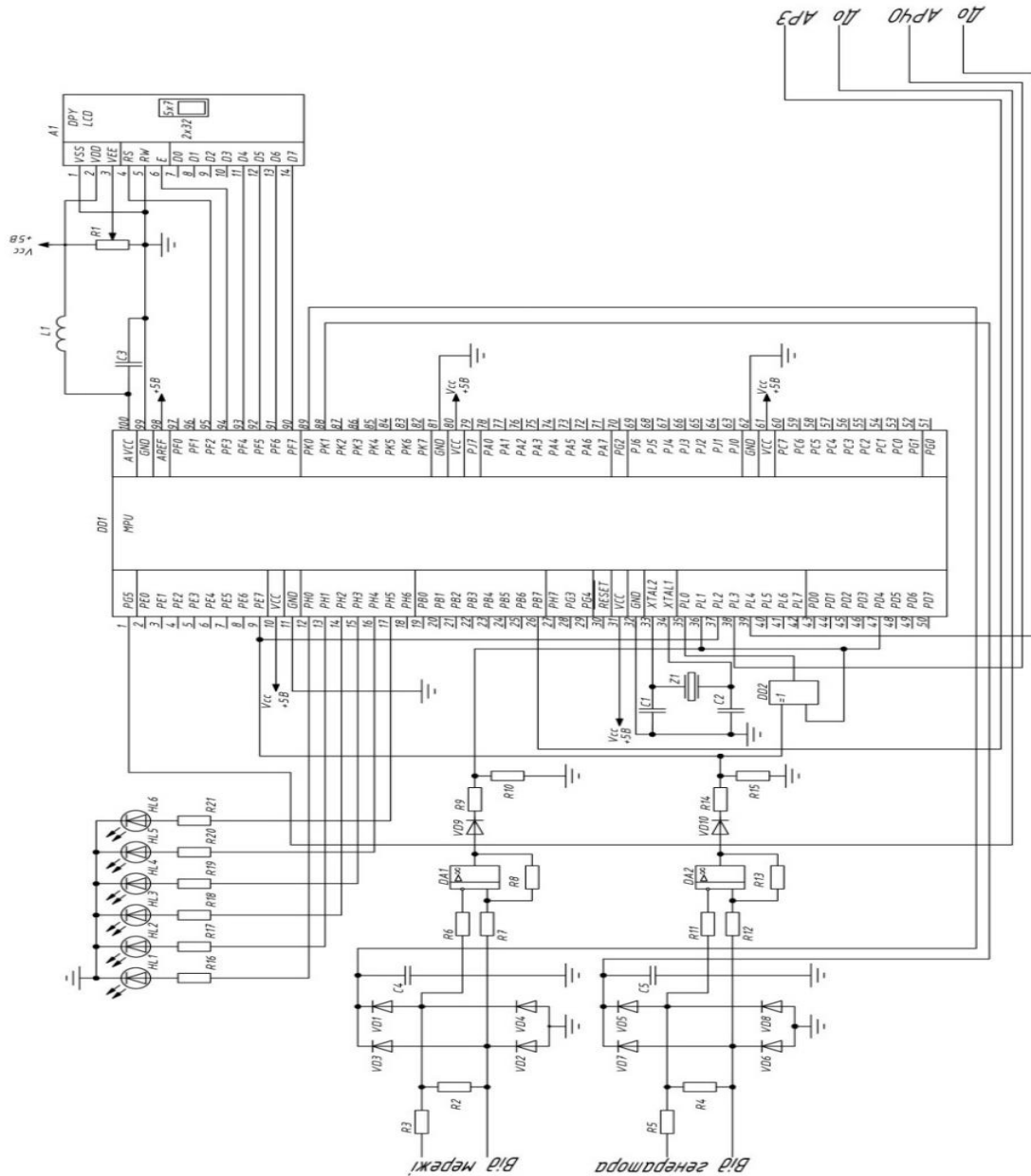


Рисунок 5.16 - Схема блоку перевірки умов синхронізації.

5.4.4 Схемо технічна реалізація блоку формування команд

Основною задачею блоку формування команд є формування і видача сигналу на ввімкнення вимикача СГ при певному розрахунковому значенні різниці фаз. Блок формування команд визначає кут випередження у залежності від різниці частот та перевіряє поточне значення різниці фаз на умову досягнення нею кута випередження. Схема блоку формування команд зображена на рис. 5.17.

5.5 Висновки по розділу

1. Комплексно розглянуто аспекти проектування та аналізу системи автоматичної синхронізації синхронних генераторів (ЕСАС ССГ).
2. Детально вивчено теоретичні основи та призначення синхронізації СГ, типи та класифікація систем автоматичної синхронізації, теоретичні.
3. Проведено огляд типових ЕСАС провідних компаній виробників у результаті зібрано необхідну інформацію для подальшого проектування.
4. Розглянуто структурну схему ЕСАС ССГ, яка включає такі основні складові: вимірювальний блок, блок підгонки параметрів генератора до параметрів мережі, блок перевірки умов синхронізації та блок формування команд.
5. Визначено основні вимоги до кожної зі складових цієї системи.
6. Проведено схемотехнічне проектування елементів ЕСАС ССГ, включаючи: двоканальний вольтметр, двоканальний частотомір, фазометр, а також блоки підгонки параметрів генератора, перевірки умов синхронізації та формування команд.
7. Розраховано параметри всіх елементів системи.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Особливості травматизму при роботі з електрообладнанням

Електротравми виникають, коли людина опиняється під напругою внаслідок контакту з частинами електроустановки, що мають різні потенціали або потенціал, який відрізняється від потенціалу землі. Це може статися як через безпосередній дотик, так і через утворення електричної дуги між елементами електроустановки чи між цими елементами і людиною, яка має контакт із землею. Також причиною може бути дія крокової напруги.

У загальному виробничому травматизмі електротравми становлять близько 1 %, але в структурі смертельних травм цей показник досягає 15–20 %. Це свідчить про те, що електротравми часто є тяжкими, що є характерною особливістю цього виду травматизму.

Більшість смертельних випадків (70–80 %) пов'язані з електроустановками напругою до 1 кВ, тоді як для установок з напругою понад 1 кВ цей показник становить 20–30 %. Такий розподіл пояснюється не лише більшою кількістю установок до 1 кВ, а й тим, що до них мають доступ працівники, які часто не усвідомлюють небезпеку електроструму і не дотримуються правил безпеки. Натомість доступ до установок з напругою понад 1 кВ мають лише працівники з відповідною підготовкою і рівнем кваліфікації.

Особливостями електротравматизму є:

- Неможливість визначити наявність напруги без спеціальних приладів, через що дія струму стає раптовою, а організм реагує лише після потрапляння під напругу.
- Електрострум впливає не тільки на місця контакту, але й на організм у цілому, викликаючи серйозні порушення в роботі нервової, серцево-судинної систем та органів дихання.

- Електротравми можуть виникати без прямого контакту з провідниками струму через утворення електричної дуги.
- Здебільшого фіксуються лише тяжкі випадки та смертельні електротравми, що ускладнює профілактичну роботу в цій сфері.

Електротравми мають кілька важливих факторів ризику:

-Непередбачуваність дії струму. Людина не може заздалегідь оцінити присутність напруги без спеціального обладнання, тому контакт із нею найчастіше трапляється несподівано.

Висока небезпека для організму. Струм, проходячи через тіло, викликає термічне, електрохімічне та біологічне ураження тканин і органів. Особливо серйозно страждають серце, мозок, м'язова система, а також може відбутися зупинка дихання через параліч дихального центру.

Розповсюдження струму через повітря. Електрична дуга може утворюватися навіть за відсутності прямого контакту, якщо відстань між струмопровідними частинами та людиною є меншою за критичну.

Обмежений контроль над легкими випадками. Легкі електротравми часто залишаються поза увагою, оскільки потерпілі рідко повідомляють про них. Це призводить до того, що такі випадки не враховуються в статистиці, а профілактичні заходи не коригуються відповідно до реальної ситуації.

6.2 Аналіз небезпечних факторів при експлуатації електроустановок

Основною небезпекою при експлуатації будь-якого електрифікованого обладнання, є загоряння внаслідок замикання, перегріву, несанкціонованого доступу до електросистеми і, як наслідок, її порушення.

Найнебезпечнішою пожежею є загоряння АКБ. Майже всі виявлені на сьогоднішній день випадки загоряння батареї – наслідок аварійних ситуацій або пошкодження батареї, днища машини під час експлуатації. Щоб мінімізувати такі ризики, корпуси батареї роблять з матеріалів підвищеної міцності. Основна причина загоряння АКБ – коротке замикання в осередках батареї. Це спричиняє неконтрольоване генерування тепла й підвищення

температури, що призводить до займання «хімії» та ланцюгової реакції по всіх комірках АКБ.

Унаслідок цього всередині батареї розвивається так звана «термальна втеча», коли сильно нагрітий хімічний склад починає послідовно вивільнятися з комірок.

6.3 Допомога при ураженні електричним струмом

Перша допомога – це сукупність невідкладних дій, які виконуються немедичними працівниками (взаємодопомога) або самотійно постраждалим (самодопомога) для збереження чи відновлення здоров'я. Основний принцип такої допомоги – оперативність: чим швидше вона надана, тим більша ймовірність успішного результату.

Алгоритм надання першої допомоги:

- усунути небезпеку та забезпечити припинення впливу шкідливих чинників на потерпілого, оцінити його стан;
- оцінити ситуацію та визначити характер і тяжкість травми, виявити головну загрозу для життя потерпілого та скласти послідовність дій;
- у критичних випадках відновити дихальні шляхи, провести штучне дихання чи непрямий масаж серця;
- забезпечити базові життєві функції до приїзду лікаря;
- зателефонувати до швидкої допомоги або організувати транспортування потерпілого до лікарні.

Особливості дій при ураженні електричним струмом:

- щоб відключити потерпілого від джерела струму (до 1000 В), використовуйте сухі предмети, які не проводять електрику: палицю, канат, дошку;
- якщо струм проходить через тіло в землю, можна ізолювати потерпілого, підсунувши під нього дошку або відтягнувши за одяг, дотримуючись заходів безпеки;

- перерізати дроти потрібно по одному, використовуючи інструмент із ізольованими ручками.

Дії після звільнення від струму:

- якщо потерпілий у свідомості. Покласти його на підстилку, забезпечити доступ свіжого повітря, розстебнути тісний одяг, зігріти тіло, дати понюхати нашатирний спирт і забезпечити спокій.
- якщо постраждалий без свідомості. Перевірити дихання та пульс. У разі їхньої відсутності негайно розпочати штучне дихання та масаж серця.
- у будь-якому разі викликати лікаря, навіть якщо видимих важких симптомів немає, оскільки стан може раптово погіршитися.

Загальні рекомендації:

- постраждалого слід переміщувати лише за умови, якщо йому чи рятувальнику загрожує небезпека, або якщо допомога на місці неможлива.
- штучне дихання чи масаж серця можна проводити в будь-якому положенні потерпілого, навіть на висоті, якщо транспортування потребує часу.
- реанімаційні заходи варто продовжувати до відновлення дихання та серцебиття або до прибуття медичного персоналу.

Ці правила спрямовані на мінімізацію наслідків ураження та забезпечення максимальної підтримки життєдіяльності потерпілого.

6.4 Заходи щодо безпеки при експлуатації генераторів та електродвигунів

Експлуатація генераторів та електродвигунів вимагає дотримання низки заходів техніки безпеки для запобігання травмам, пошкодженню обладнання та забезпечення надійної роботи електрообладнання.

Основні заходи включають.

- *Інструктаж та навчання.* Обслуговуючий персонал повинні пройти навчання з правил експлуатації генераторів, електродвигунів і систем безпеки обладнання.
- *Використання засобів захисту.* Під час роботи з високовольтними елементами необхідно використовувати діелектричні рукавички, килимки, взуття та ізолюючі інструменти.
- *Заборона роботи без кваліфікації.* Робота з генераторами та електродвигунами дозволена лише працівникам із відповідною групою допуску з електробезпеки.
- *Перевірка перед початком роботи.* Перед запуском обладнання перевірити стан електродвигунів, кабелів, акумуляторної батареї та системи управління. Усі контакти мають бути надійно закріплені, а ізоляція – не пошкоджена.
- *Контроль температури.* Уникати перегріву генераторів й електродвигунів, дотримуватися рекомендацій виробника щодо максимального навантаження.
- *Запобігання контакту з рухомими та струмоведучими частинами.* Усі кришки та захисні панелі повинні бути на місці під час роботи електрообладнання.
- *Відключення напруги.* Перед будь-яким обслуговуванням або ремонтом необхідно повністю відключити систему електроживлення обладнання.
- *Зняття статичної електрики.* Перед обслуговуванням важливо розрядити накопичений заряд із конденсаторів, якщо вони є в системі.
- *Захист від короткого замикання.* Використовувати інструменти з ізольованими ручками, щоб уникнути випадкових замикань.

Експлуатація в екстремальних умовах

- *Робота в умовах вологи.* Уникати експлуатації у сильний дощ або в місцях із високим рівнем вологості, якщо конструкція не передбачає додаткового захисту від води.
- *Контроль стану підлоги.* Підлога повинна бути сухою та чистою, особливо в зонах зарядки чи технічного обслуговування.

Зарядка обладнання.

- Використання сертифікованих зарядних пристроїв. Заборонено використовувати саморобні зарядні пристрої або кабелі з пошкодженою ізоляцією.
- Безпека під час зарядки. Заряджання потрібно проводити в добре провітрюваних приміщеннях для уникнення накопичення газів від акумуляторів.
- Відключення під час дощу. Забороняється проводити зарядку на відкритому просторі під час опадів.

Заходи під час аварійних ситуацій

- Відключення у разі аварії. У разі виявлення перешкод (наприклад, диму, іскор або перегріву) негайно зупинити генератор (двигун), вимкнути живлення та повідомити відповідальну особу.
- Використання вогнегасника. У разі займання обладнання використовувати вогнегасники, призначені для гасіння електричного обладнання (вуглекислотні або порошкові).

Контроль і профілактика

- Регулярний техогляд. Проводити планове технічне обслуговування електродвигунів і генераторів.
- Діагностика поломок обладнання. При виявленні будь-яких відхилень у роботі електродвигуна (шум, вібрація, зниження потужності) негайно звертатися до спеціалістів.

Дотримання цих правил сприяє підвищенню безпеки персоналу, запобіганню аварійним ситуаціям і продовженню терміну служби генераторів і електродвигунів.

6.5 Висновки по розділу

1. Електротравматизм характеризується високим рівнем небезпеки через раптовість впливу електричного струму, неможливість візуально

визначити напругу та серйозність наслідків для організму, які включають ураження серцево-судинної, нервової систем та органів дихання.

2. Особливості електротравм включають можливість ураження без прямого контакту, через електричну дугу, та недостатній облік легких випадків, що ускладнює ефективну профілактику.
3. Дотримання техніки безпеки при експлуатації генераторів і електродвигунів включає навчання персоналу, використання захисного обладнання, перевірку стану систем перед запуском, контроль температури та відсутність пошкоджень ізоляції.
4. Важливими є відключення живлення перед обслуговуванням, уникнення роботи у вологих умовах, безпечна зарядка електрокара та оперативні дії під час аварій.
5. Регулярне технічне обслуговування та своєчасна діагностика електричних машин забезпечують безпечну експлуатацію, запобігають аваріям і продовжують термін служби обладнання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО МАГІСТЕРСЬКІЙ РОБОТІ

1. Суднові електроенергетичні системи поділяються на: автономні СЕЕС, які не мають безпосереднього зв'язку з силовою установкою судна; СЕЕС, які мають джерела електричної енергії з відбором потужності від силової установки; СЕЕС, об'єднані з силовою установкою.
2. При наявності трьох генераторів на електростанції зазвичай для кожного генератора виділяється окрема секція шин з розбивкою споживачів на всі три або тільки на дві крайні секції шин.
3. Пропульсивна установка «Shallow Draft Tanker» складається з двох головних двигунів та двох азимутальних рушіїв.
4. Визначення складу і потужності генераторів основного джерела електричної енергії має здійснюватися з урахуванням режимів роботи судна: ходового; маневрового; аварійного; режимів відповідно до призначення судна.
5. Для забезпечення електроенергією на судні «Shallow Draft Tanker» встановлено три дизель-генератори потужністю 300 кВт.
6. У якості аварійного джерела електроенергії на судні використовується дизель-генератор Caterpillar потужністю 164 кВт.
7. На судні встановлено акумуляторні батареї типу Lead Acid Sealed фірми «Seun Electric» з характеристиками – 24В, 100 А/год.
8. В магістерській роботі розроблена система електропостачання судна Shallow Draft Tanker, яка забезпечує ефективну і безпечну роботу всіх критичних електричних систем судна, зокрема навігаційного обладнання, систем освітлення, вентиляції, кондиціонування та інших допоміжних систем.
9. У результаті виконаних розрахунків та перевірок було встановлено, що система електропостачання судна Shallow Draft Tanker відповідає всім

вимогам надійності, ефективності та безпеки, гарантуючи безперебійну роботу суднових систем навіть у складних умовах експлуатації.

10. Всі вибрані компоненти системи енергопостачання відповідають міжнародним стандартам і забезпечують ефективну роботу в усіх режимах експлуатації.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Суднові автоматизовані електроенергетичні системи. Ч.1/Голіков С.П., Чорний С.Г., Жук Д.О., Івановський В.М. – К.: Кондор 2013 -198 с.
2. Хохулін Б.К. Пристрої захисного вимкнення в мережах низької напруги. – Львів: ЛьВЦНТІ, 2000, - 91 с. 33.
3. Шелепетень Т.М. Захисна автоматика електричних мереж.: Навч. посібник для студентів спеціальностей 7.090602 та 8.090602 "Електричні системи та мережі" всіх форм навчання. – Львів, 2002, 157 с.
4. Сабадаш І.О. Новітні мікропроцесорні технології в експлуатації мереж 6 – 35 кВ. - Электрические сети и системы, , 2011, – №6.
5. Кононов Б.Т.Релейний захист та автоматика в системах електропостачання військових об'єктів: підручник /Б.Т. Кононов, Б.Ф. Самойленко, В.Б. Кононов – Х.:ХУПС, 2007. – 38 4с.
6. Електричні машини: підручн. / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов, А.О. Нечаус; заг. ред. Б.Т. Кононова. –Х.:ХУПС, 2015. – 496 с.
7. Метельський В.П. Електричні машини та мікромашини: навч.посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В.П. Метельський. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2010. – 660с.
8. Андрієнко В.Н. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за. напрямом підготов «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К.: НУХТ, 2010. – 366 с
9. Яцун М.А. Електричні машини : підручник / М.А. Яцун. – Л.: Вид. во Львів. політехніки . 2011. – 461 с.
10. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.

11. Кононов Б.Т. Математична модель дугостаторного електричного двигуна з короткозамкненим ротором /Б.Т. Кононов, Н.М. Рябуха // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015. – № 1 (41). – С. 112-115.
12. Кононов Б.Т. Розрахункові співвідношення для визначення кидків струмів та провалів напруги при пуску дугостаторного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором / Б.Т. Кононов, Н.М. Рябуха // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України : Науково-технічний журнал. – Х.:ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015 – №2 (19). – С. 132-136.
13. Кононов Б.Т. ; Спосіб отримання постійного часу випередження та пристрій його реалізації / Б.Т. Кононов, В.В. Винницька // Енергозбереження, енергетика, енергоаудит. Вип. 07 (101). – Харків, 2012. – С. 44-46. № 1 (22). – С. 88-90.
14. SYNCHROTACT . Synchronizing and parallel devices and systems //Patasheet; 3BHS 901067 E01. Rev.C, ABB, 2012. – 36 p.
15. Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 27.12.2006 №26 «Про затвердження Правил охорони праці під час виконання робіт на борту риболовних суден» пункт 8.9. Вимоги безпеки під час обслуговування електрообладнання :
16. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0074-07#Text>
18. Регістр судноплавства України: <https://shipregister.ua/>