

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри В. М. Рябенський
д.т.н., професор

« 16 » грудня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Побудова енергоефективної берегової зарядної станції для
акумуляторного судна

Виконав: студент 6 курсу, групи 6321М
спеціальності 171

«Електроніка»

шифр і назва спеціальності)

ОПП «Електронні системи»

Бондаренко Д.С.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник

Жук О. К.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Дьяконов О. С.

(прізвище та ініціали)

м. Миколаїв – 2024 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ННІ	автоматики та електротехніки
Кафедра	програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	171 «Електроніка»
ОПП	Електронні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  В. М. Рябенський
д.т.н., професор

« 16 » жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бондаренку Данила Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Побудова енергоефективної берегової зарядної станції для
акумуляторного судна

керівник роботи Жук Олександр Кирилович, к.т.н., доцент, професор НУК

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

затверджені наказом вищого навчального закладу

від « 14 » жовтня 2024 року № 1075-уч.

2. Строк подання студентом роботи 15 грудня 2024р

3. Вихідні дані до роботи характеристики та вимоги до зарядних пристроїв
сучасних акумуляторних суден за даними огляду відповідних публікацій

4. Мета дослідження розробка енергоефективних технологій берегової зарядки
акумуляторних суден шляхом пошуку та порівняльної оцінки ефективності
основних структурних рішень зарядних систем берег – судно

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки
(перелік питань, які потрібно розробити) огляд та аналіз механічної конструкції,
схемотехнічних рішень та методів керування сучасних берегових проводових та
індукційних зарядних систем; аналіз основних залежностей зарядного струму і
необхідної встановленої потужності інверторного перетворювача ІЗС від
коефіцієнта зв'язку; розробка рекомендацій щодо можливих принципів компенсації
впливу зміни коефіцієнта зв'язку на режим індукційних зарядних систем;
визначення ККД зарядної системи берег – судно, тобто відношення енергії,
спожитої бортовим акумулятором до сумарної енергії, що надходить від берегової
мережі безпосередньо та через береговий акумуляторний накопичувач; забезпечення
електромагнітної сумісності системи бездротової зарядки акумуляторного судна з
береговою мережею

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

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Тубальцев А.М		

8. Дата видачі завдання « 16» жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних технологій зарядки потужних акумуляторів для суден з електричним рухом	22.10.2024р.	виконав
2	Проектування та дослідження потужної берегової бездротової зарядної системи	15.11.2024р.	виконав
3	Охорона праці	01.12.2024р	виконав
4	Оформлення дипломної роботи	15.12.2024р.	виконав

Студент


(підпис)

Д.С. Бондаренко

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

О. К. Жук

(прізвище та ініціали)

Анотація

Розглянуто берегові зарядні системи великої потужності для акумуляторних суден з використанням новітніх технологій і компонентів: удосконалених комутаційних елементів (з'єднувачів), бездротової індуктивної передачі енергії, засобів суднової силової електроніки, берегових накопичувачів, оптимізації процесу зарядки. Виконано порівняльний аналіз можливих топологічних рішень зарядних систем, виходячи з умови досягнення найбільшої енергоефективності з урахуванням типу суднової електроенергетичної системи (СЕЕС), доступного часу зарядки, можливостей портової електричної мережі та стратегії управління високого рівня.

Ключові слова: акумуляторні судна з електричними та гібридними пропульсивними енергоустановками, силові напівпровідникові перетворювачі, берегові системи накопичення і зберігання енергії, з'єднувач берег-судно, індуктивні системи зарядки.

Abstract

Text High-capacity shore charging systems for battery ships using the latest technologies and components are considered: improved switching elements (connectors), wireless inductive energy transfer, ship power electronics, shore storage devices, optimization of the charging process. A comparative analysis of possible topological solutions of charging systems was performed, based on the condition of achieving the highest energy efficiency, taking into account the type of ship electric power system (SEES), available charging time, capabilities of the port electrical network and a high-level management strategy.

Keywords: battery ships with electric and hybrid propulsion power plants, power semiconductor converters, shore systems of energy accumulation and storage, shore-ship connector, inductive charging systems.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів..	5
Вступ.....	6
Розділ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАРЯДКИ ПОТУЖНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ СУДЕН З ЕЛЕКТРИЧНИМ РУХОМ	12
1.1. Архітектура зарядних систем берег – судно	12
1.2. Система дротової зарядки.....	12
1.3. Системи бездротової зарядки.....	17
1.4. Метод заміни батареї	19
1.5. Час для зарядки.....	20
1.6. Береговий зарядний інтерфейс.....	23
1.7. Управління живленням: управління перетворювачем живлення	30
1.8. Контроль системи живлення	32
Розділ 2. проектування та дослідження ПОТУЖНОЇ суднової бездротової зарядної системи	37
2.1. Особливості впровадження суднових рухових установок на акумуляторах	37
2.2. Аналіз технології високопотужної індукційної зарядки морських суден	41
2.3. Топологія і конфігурація системи індукційної зарядки	44
2.4. Аналіз конструктивних елементів індукційних котушок	45
2.5. Аналіз основних енергетичних показників ІЗС	47
2.6. Розробка системи та мінімізація вимог до запасу потужності ...	50
2.7. Полномасштабні випробування	55
2.8. Інтеграція енергосистеми індуктивної передачі потужності.....	57
Розділ 3. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАРЯДНИХ СИСТЕМ БЕРЕГ-СУДНО (ЗСБС).....	60
3.1. Моделі втрат потужності в компонентах ЗСБС на шляху заряджання бортової батареї	60

3.2.	Трифазний дворівневий PWM-інвертор з LCL фільтром	60
3.3.	Двонаправлений DC/DC перетворювач	62
3.4.	Трифазний діодний випрямляч	63
3.5.	Система індуктивної передачі енергії IPT	63
3.6.	Акумулятор	65
3.7.	Силовий трансформатор	65
3.8.	Приклад аналітичного дослідження енергоефективності	66
3.9.	Результати і висновки	67
3.10.	Електромагнітна сумісність системи бездротової зарядки акумуляторного судна з береговою мережею.....	70
3.11.	MATLAB - моделі комплексів берегова мережа – БЗС	73
3.12.	Результати порівняльних досліджень показників якості електроенергії в мережі з БЗС	75
Розділ 4.	Охорона праці	79
4.1.	Основні положення щодо охорони праці в Україні.....	79
4.2.	Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що впливають на людину при роботі за персональним комп'ютером	81
4.3.	Шум.....	81
4.4.	Мікроклімат	82
4.5.	Пожежонебезпека	82
4.6.	Освітлення	83
4.7.	Розрахунок штучного освітлення робочого місця оператора.....	83
4.8.	Електрична безпека	86
4.9.	Захист від шуму	87
4.10.	Вентиляція	87
4.11.	Пожежна безпека.....	88
4.12.	Статична електрика.....	88
4.13.	Дія електромагнітних променів на тіло людини	89
4.14.	Захист від електромагнітного випромінювання	89
Висновки		93
Список використаних джерел		95

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

ІЗС – Індуктивна зарядна система

СУЕ – Система управління енергією

СУП – Система управління потужністю

СУА – Система управління акумуляторами

ПК – Персональний коп'ютер

					171.6321М.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВСТУП

Електрифікація морських суден для підвищення функціональності, гнучкості і паливної економічності розвивалася протягом кількох десятиліть. Розвиток електрифікації в даний час також є одним з найбільш багатообіцяючих варіантів переходу до морського транспорту з нульовим рівнем викидів. Основні типи електрифікованих силових установок включають традиційні дизель-електричні рішення, гібридні системи з бортовим накопичувачем енергії і повністю акумуляторні електричні силові установки.

Впровадження технологій бездротового передавання потужності на зарядних електромобілях використовується для зменшення або усунення споживання викопного палива. Однак застосування накопичувачів електроенергії у суднах великої потужності все ще стикається із значними проблемами через низьку щільність енергії та високу вартість батарей. Таким чином, доступний діапазон для роботи від акумуляторів обмежений, і в даний час більшість суден із суто акумуляторним рухом є паромами на короткі відстані або суднами для місцевих прибережних перевезень.

В даний час більшість країн з довгою прибережною смугою планують значні скорочення викидів вздовж своїх узбережь та в своїх портах, що призведе до розвитку суден на акумуляторах, для перевезень на короткі відстані а також розширення необхідної інфраструктури.

Міжнародна морська організація рекомендує розробляти інфраструктуру на відновлюваних джерелах енергії, для сприяння зменшенню викидів парникових газів від судноплавства. Особливо для районів з контролем викидів вводяться нормативи щодо скорочення викидів парникових газів та твердих частинок.

Отже, кілька розробок у тому самому напрямку розвиваються у всьому світі, і численні виробники та оператори морської галузі розглядають можливість переходу на альтернативну енергію.

					171.6321М.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Загальні стимули та відповідні зусилля у галузі промислового розвитку нещодавно були спрямовані на зменшення викидів від внутрішніх морських перевезень. У Норвегії особлива увага приділяється скороченню викидів у фьордах світової спадщини ЮНЕСКО, вимагаючи застосування суден з нульовим викидом для пасажирських та автомобільних перевезень через фьорди. Як приклад, очікується, що до 2022 р. У Норвегії буде 70 електричних паромів. Більше того, близько 98% виробленої електроенергії надходить із відновлюваних джерел енергії, переважно гідроенергетики, а тому зарядка від берега забезпечує зелену електроенергію до бортових батарей.

Згідно з альтернативним аналізом DNV GL, на початку 2020 року працює близько 360 суден з бортовими акумуляторними установками. З них близько 50% мають повністю електричні або роз'ємні гібридні силові установки, більшість з яких - автомобільні пороми та круїзні судна. Пороми в основному використовуються для пересадки людей або автомобілів на невелику відстань за встановленим графіком. Наприклад, MF Tycho Brahe та MS Aurora, два сестринські гібридні електричні судна від HH Ferries, працюють на 4-кілометровому маршруті між Хельсінгер, Данія, та Хельсінгборг, Швеція, перевозячи до 1250 пасажирів, 260 вантажівок та 240 автомобілів. Ці пороми перезаряджаються, коли вони стикаються, чекаючи завантаження та розвантаження, а час зарядки становить близько 5 хв 30 с у Хельсінгері та 9 хв у Хельсінгборзі.

Коли час заряджання обмежений суворим графіком, час стикування повинен ефективно використовуватися, створюючи необхідність швидкої зарядки. Однак для великих круїзних суден час зарядки зазвичай варіюється від декількох годин до 8 годин. MS Color Hybrid, який є великим гібридним круїзним судном, що перевозить до 2000 людей між Сандефьордом (Норвегія) та Штремстадом (Швеція), є гарним прикладом гібридного круїзного судна.

					171.6321М.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Огляд деяких відповідних прикладів останніх кораблів із роз'ємними гібридними або повністю акумуляторними системами електроенергії наведено в таблиці 1. У колонці про час зарядки є два основних типи зарядки, довгострокова / нічне заряджання та / або можливість зарядки за короткий час, коли судно завантажується або розвантажується.

Крім того, Амстердам, Нідерланди, хоче заборонити всі дизельні кораблі та пороми з міських каналів до 2025 року. У США штат Вашингтон Ферріс також пропонує додати до свого флоту 16 гібридно-електричних суден як частина свого довгострокового плану на 2040 рік, вибуття та заміна 13 з 23 кораблів, що експлуатуються в даний час. Таким чином, у найближчі роки можна очікувати значну кількість новозбудованих суден або модернізаційних установок у межах усього переліку застосувань поромів, перелічених у таблиці 1. Крім того, також очікуються додаткові зусилля щодо електрифікації інших типів суден.

Слід також зазначити, що технологія тривалого енергопостачання з берега на інші типи суден розроблялася і вивчалася протягом декількох десятиліть. Наприклад, судна підключені до берегової мережі (зазвичай їх називають «холодним прасуванням»), тривалий час розглядалися як альтернатива використанню допоміжних бортових (дизельних) генераторів.

Дійсно, зупинка усього виробництва енергії на базі викопного палива допомагає зробити територію гавані чистішою та зменшує шум дизельних генераторів. Тому покращення живлення в портах для холодного прасування та зарядки перетворюється на вимогу для майбутніх гаваней. Отже, необхідні подальші дослідження для вивчення навантаження в умовах обмеженого порту, методів контролю стабільності та питань інтеграції відновлюваних джерел енергії в майбутніх розумних портах.

Таблиця 1.1 – Список електричних суден введених в експлуатацію.

Назва та маршрут	Час зарядки	Ємність батареї та зарядна потужність	Коментарі
MV Hallaig , Скай та	За ніч	2x350кВт/год, 50кВт	• перший у світ дизель-

Расай			електричний гібридний пором
MF Ampere, Согнефіорд між Лавік та Опадаль, Норвегія.	10 хв. І всю ніч	1,040кВт/год, 1,2МВт 1,250-1,650А	• перший у світі повністю електричний автомобільний пором • 350 пасажирів та 120 автомобілів • 34 поїздки на день
MF Folgefonn, Яктевік-Нордхугло -Горднанес, Норвегія.	4 хв на найкоротшій зупинці, одна довша зарядка період 20-25 хв	1000 кВт/год, 1 МВт	• Перше гібридне судно в Норвегії • перша індуктивна короткострокова зарядка • демонстрація з 2017 по 2019 рік • демонстраційне судно, яке більше не експлуатується
Vision of the Fjords, Нерейфьорд, Норвегія.	Не застосовується	600 кВт/год, 1,2 МВт при 400 В	• 400 пасажирів
MF Elektra, Науво і Парайнен, Фінляндія	5 хв 30 с і за ніч	1МВт/год, Не застосовується	• 375 пасажирів та 90 автомобілів • 25 поїздок на день
MF Gløppefjord and MF Eidsfjord, Лоте та Анда, Норвегія	6–7 хв і за ніч	2х540 кВт/год, 1500 кВт	• основним джерелом живлення є акумулятор • 349 пасажирів
MF Tycho Brahe and MS Aurora, Гельсінгер, Данія, та Хельсінгборг, Швеція	5 хв 30 с Гельсінгер 9 хв у Гельсінгборзі 20 хв	4,160 кВт/год, 10,5 МВт при 10 кВ	• 1250 пасажирів і 260 вантажівок, 240 вагонів, або дев'ять пасажирських поїздів
Future of the Fjords, Нерейфьорд, Норвегія.	20 хв	1,800 кВт/год, 2,4 МВт при 1 кВ	• 400 пасажирів • розчин для зарядки постійного струму
MS Color Hybrid Сандефьорд, Норвегія, та Стормстад, Швеція.	25 хв на зупинці на обід і за ніч	5,000 кВт/год, 7 МВт	• 2000 пасажирів та 500 автомобілів

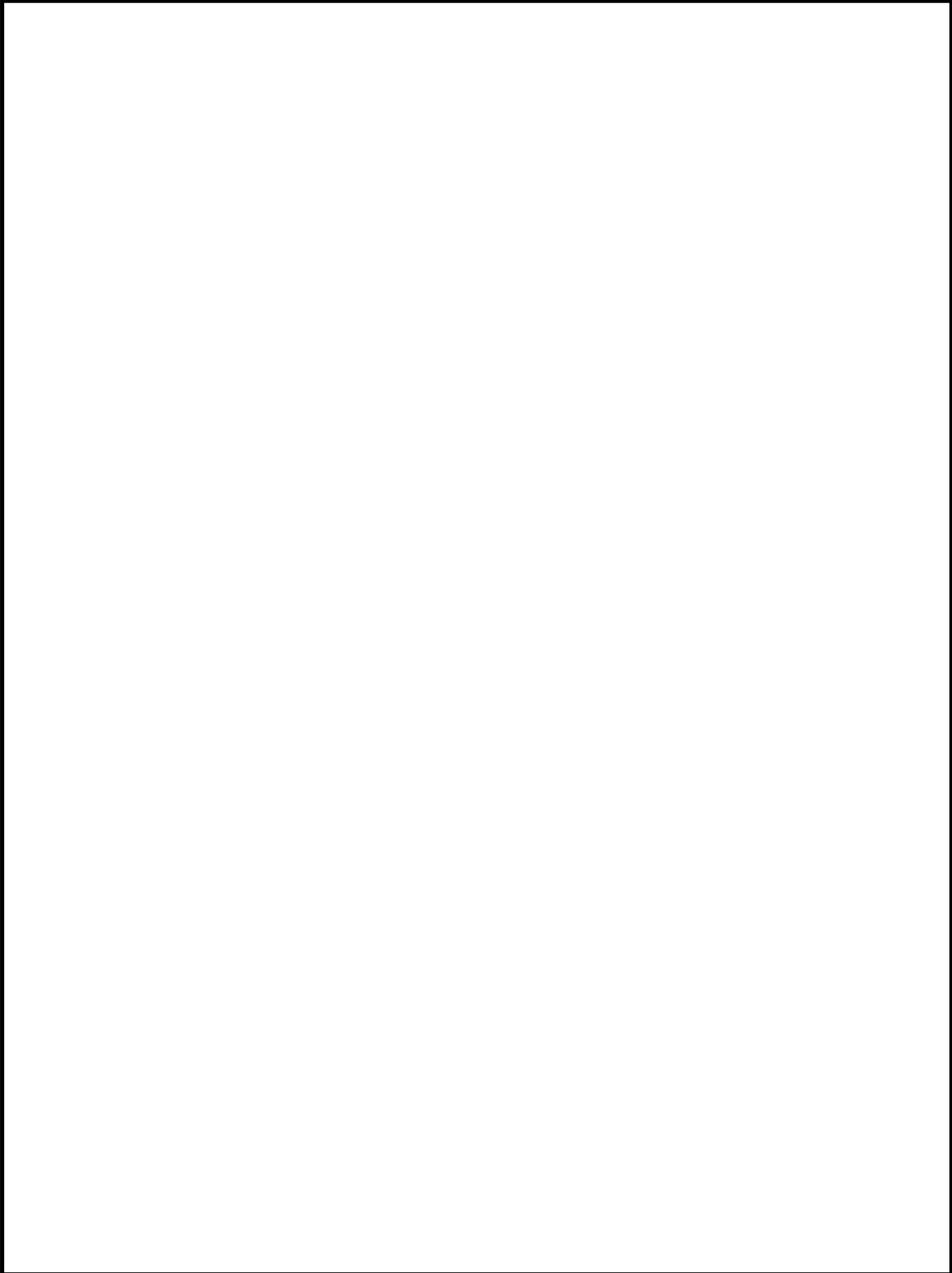
Ellen, Фіншав і Собі, Данія.	20 хв і ніч	4,3МВт, 4 МВт при 1000 В	• найбільший у світі повністю електричний пором • 198 пасажирів та 31 автомобіль або п'ять вантажівок • з'єднання для зарядки постійного струму • 40 км між зарядами • п'ять-сім поїздок на день
Go Vakker Ele, Фредрікстад, Норвегія	112 с	Не застосовується, 80 кВт	• Працює цілодобово • до 50 пасажирів • індуктивна зарядка

Останні десять років суднобудівною галуззю активно вирішуються питання пов'язані із зарядкою потужних акумуляторів на судах з електроживленням, з акцентом на електричні пором, які мають щільний графік і короткий час стикування.

Створення зарядки акумуляторної батареї включає кілька основних компонентів і функцій управління, таких як перетворювачі силової електроніки, трансформатори і пасивні елементи, вилки та з'єднувачі, а також систему управління енергією зарядки. Важливим є функціонал управління, необхідний для зарядки з берега.

Зарядка акумуляторів на судах з електроживленням вимагає більш високих рівнів потужності зарядного пристрою, ніж для систем громадського транспорту, такі як автобуси і трамваї. Технічні проблеми проектування потужних індуктивних зарядних пристроїв потребують розробки рішення для передачі потужності в діапазоні 1-2 МВт.

Рішення проблеми систем високопотужної зарядки судів на електроживленні включає впровадження новітніх технологій, методів контролю та вирішення пов'язаних з цим проблем. Крім того, для цілей зарядки створюються новітні комерційні берегові інтерфейси.



					171.6321М.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Бондаренко Д.С.			АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАРЯДКИ ПОТУЖНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ СУДЕН З	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							11	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Жук О. К.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАРЯДКИ ПОТУЖНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ СУДЕН З ЕЛЕКТРИЧНИМ РУХОМ

1.1. Архітектура зарядних систем берег – судно

З точки зору структурної побудови, системи для подачі електроенергії з берега складаються з інтерфейсу до основної мережі за допомогою понижуючого трансформатора, можливо, берегової системи накопичення енергії, яка, як правило, базується на літій-іонних акумуляторах, перетворювачів силової електроніки, відповідальних за змінні перетворення постійного та постійного струму, трансформатори для підтримки гальванічної ізоляції, а також регулювання рівня напруги, автоматичні вимикачі та системи управління кабелем. У цій статті сучасні технології зарядки берег-корабель класифікуються на провідні або дротові системи зарядки, системи бездротової зарядки та механізми заміни акумулятора.

1.2. Система дротової зарядки

Залежно від електричного з'єднання між берегом і судном, дротові зарядні пристрої поділяються на:

- 1) системи зарядки змінного струму
- 2) системи зарядки постійного струму.

Перша топологія заряджання берег-корабель заснована на зарядці змінного струму, при цьому вся енергія передається кораблю через з'єднання змінного струму. Таким чином, перетворювач змінного струму на постійний, відповідальний за зарядку, розміщується на борту, подібним чином, як і на бортових зарядних пристроях для електромобілів.

Для невеликих рибальських і розважальних човнів на акумуляторних батареях зарядка від стандартної 3-фазної мережі змінного струму на 400 В є найпоширенішим рішенням для берегової зарядки, оскільки вона зазвичай доступна в промислових умовах. Як результат, маршрути рибалок та моряків не будуть обмежені через наявність можливостей зарядки. Однак для

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

пасажирських або автомобільних поромів, яким потрібна більша потужність для заряджання своїх бортових батарей, слід створити спеціальну інфраструктуру. Залежно від кількості суден, які зупиняються у порту, та їх ємності на борту акумулятора, необхідний рівень потужності портової інфраструктури може змінюватися.

На рисунку 1.2.1 (а) показано систему живлення від берегової мережі, що підключається до гібридної бортової системи живлення постійного струму з однією шиною. Хоча більшість практичних силових установок для поромів та великих суден розроблені для забезпечення надмірності завдяки наявності двох або більше підключень, що працюють паралельно, для простоти показано лише одну шину.

Окрім інтерфейсу мережі, існує стаціонарна система зберігання акумуляторів, яка зазвичай повільно заряджається від мережі. Заряджання вночі або заряджання в непікові години може розглядатися не тільки для зменшення навантаження на місцевій електромережі, але й для використання дешевшої електроенергії. Трансформатор T12 - це трансформатор 50 Гц, що знижує напругу мережі до напруги на береговій шині та гальванічно ізолює берегову шину від мережі. Перетворювач C15 служить зарядним пристроєм, який відповідає за випрямлення отриманої енергії з берега. Перетворювач C12, який безпосередньо підключений до бортової батареї B11, контролює передану потужність під час заряджання та розрядки.

Подібним чином перетворювач C17 контролює потужність наземного акумулятора B12. Крім того, перетворювач C16 працює як випрямляч під час заряджання наземного акумулятора та як інвертор під час заряджання бортового акумулятора. Варто згадати, що для мінімізації витрат акумулятор у деяких бортових системах безпосередньо підключений до основної шини без перетворювача. У цьому випадку C15 контролює потужність зарядки. Однак для силових установок з декількома шинами повинен існувати

спеціальний перетворювач зарядки, такий як C15, для кожної шини, який контролює баланс потужності зарядки кожного вбудованого акумулятора.

На рисунку 1.2.1. (б) система берегового заряджання така ж, як і на рисунку 1.2.1. (а), але вона підключена до системи на базі змінного струму. Для рішення зарядки змінного струму силової установки на базі змінного струму було б необхідно синхронізувати напругу, фазу та частоту бортової системи живлення з наземною мережею, щоб уникнути сильних пускових струмів. Єдиним винятком буде, якщо бортова енергосистема буде повністю пасивною (з нульовою напругою) перед підключенням до зарядної системи. З огляду на трудомісткий процес синхронізації, розгляд питання про зарядку змінного струму для бортової системи зі змінним струмом може не бути належним рішенням для швидкої зарядки протягом критичного часу зарядки. Натомість такі розчини в основному використовуються для холодного прасування, де немає жорстких часових обмежень на підключення. Однак, щоб уникнути синхронізації, замість перетворювача C21 може бути використаний спеціальний активний або пасивний випрямляч C27. Щодо системи на рисунку 1.2.1. (б), може бути вбудований трансформатор, який забезпечує гальванічну розв'язку або регулює напругу між основною мережею змінного струму та береговою шиною.

З іншого боку, додавання бортового трансформатора призведе до вищих витрат та зниження енергоефективності.

Таким чином, використання бортового трансформатора, як правило, буде залежати від компромісів, що стосуються конкретних рішень.

Загалом, основний зарядний пристрій може бути встановлений на борту або розміщений поза бортом у спеціальній зарядній станції. Хоча вбудовані зарядні пристрої дозволяють легко заряджати за допомогою звичайної штепсельної вилки скрізь, існувало б кілька обмежень щодо розміру, ваги та вартості ввімкненого бортового обладнання, що призводить до обмеження потужності зарядки.

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

На відміну від цього, спеціальні наземні зарядні станції можуть забезпечити високу потужність для зарядки, оскільки вага та розмір зарядного пристрою не обмежені, що забезпечує швидку зарядку та скорочення часу зарядки. На морських судах в конструкції можуть бути обмеження щодо розміру та ваги. Наприклад, це може бути у випадку з високошвидкісними поромми, де вага бортового обладнання може сильно вплинути на діапазон експлуатації та продуктивність судна. Отже, усунення бортового трансформатора або мінімізація етапів перетворення потужності на борту може бути важливим при переході до більш ефективного морського транспорту з нульовими викидами. На рисунку 1.2.1 (а) зображена система постійного струму, підключена до гібридної бортової системи живлення постійного струму. Порівнюючи перетворювачі потужності на рисунку 1.1. (а) з перетворювачами на рисунку 1.2.1 (а), очевидно, що бортовий C15 обмінюється з перетворювачем C35 на суші.

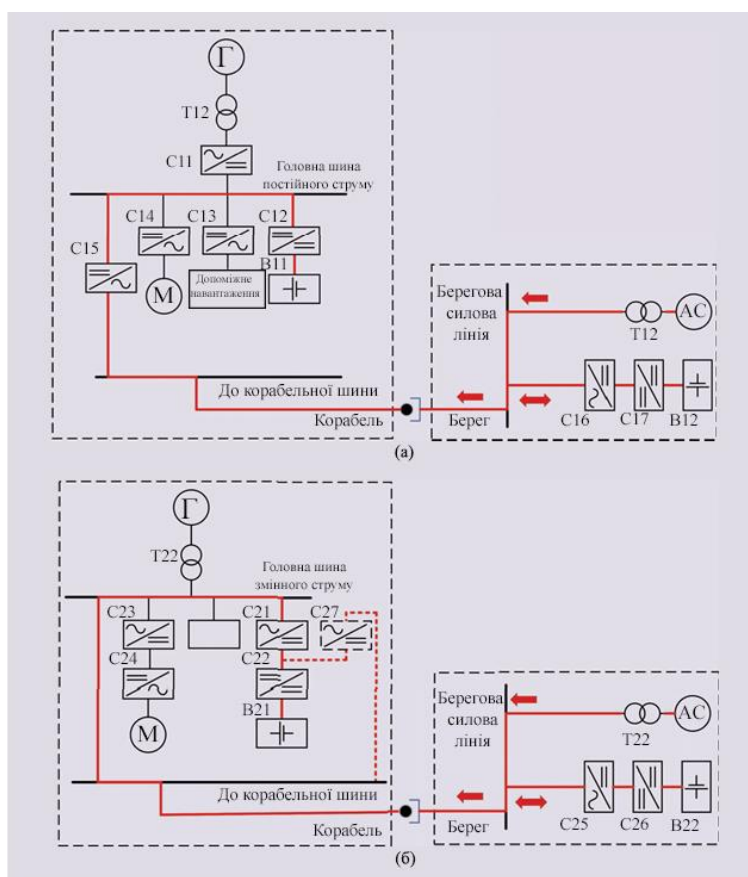


Рисунок 1.2.1. – Зарядка на основі змінного струму для (а) силової установки постійного струму (б) установки змінного струму

Однак вони не обов'язково мають подібні рейтинги, тому їх відповідна вартість та ефективність можуть відрізнятися. У цій схемі перетворювач зарядного пристрою (С32) можна зняти, тому вбудований акумулятор безпосередньо підключений до основної шини постійного струму. Потім наземний перетворювач постійного струму можна постійно підключити до штекера і використовувати для управління потужністю зарядки. Це зекономить вільну вагу на борту судна.

На рисунку 1.2.2 (б) зображено рішення для зарядки на базі постійного струму для гібридної силової установки на базі змінного струму. Суднова мережа підключена до входу перетворювача С42, тому спосіб зарядки такий самий, як на рисунку 1.2.2 (а).

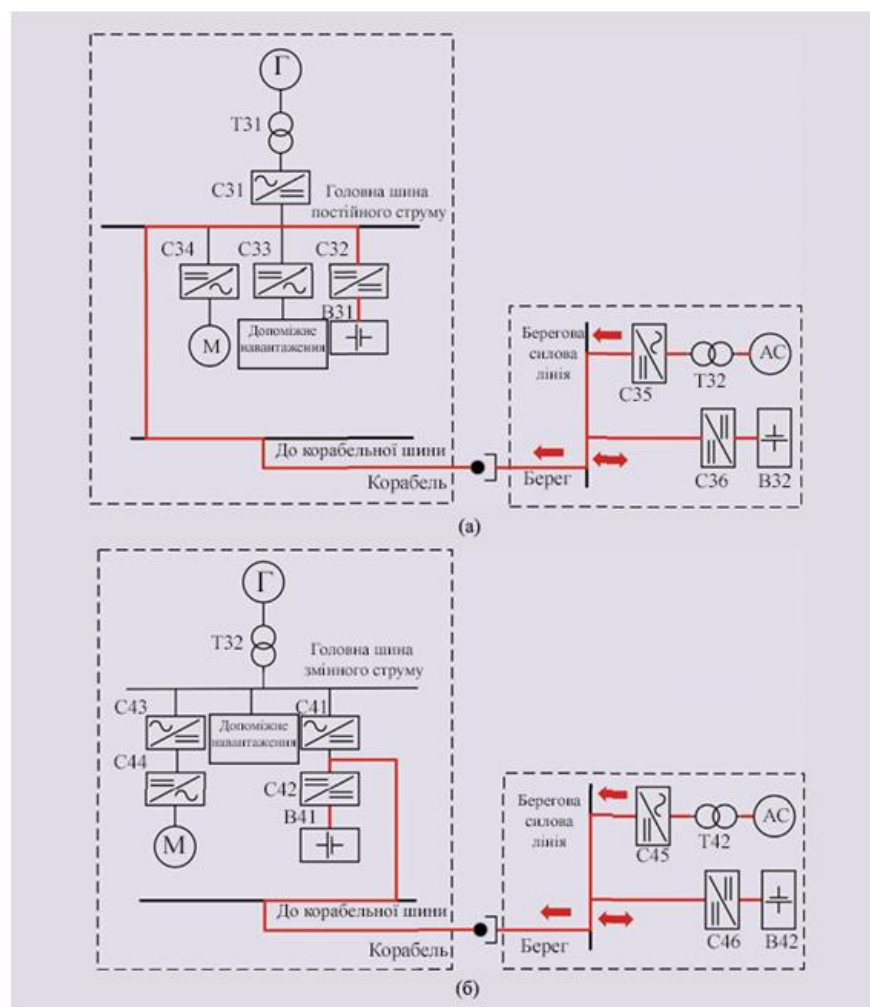


Рисунок 1.2.2. – Зарядка на основі постійного струму

1.3. Системи бездротової зарядки

Бездротовому або безконтактному передаванню енергії приділяється велика увага у розробці автомобільних зарядних пристроїв, медичних програмах та споживчій електроніці. Існує два типи бездротової передачі потужності - ємнісна та індуктивна - де передача енергії базується або на електричному полі, або на магнітному полі між двома пластинами або котушками, причому одна працює як передавач, а інша - як приймач. Однак для потужної зарядки акумуляторів в електрифікованих транспортних системах більшість досліджень та пристроїв були з використанням індуктивної передачі потужності, при якій енергія передається через електромагнітне поле. У важких умовах солоної води кабелі та штекери піддаються механічному зносу і корозії, що ставить до додаткові вимоги до технічного обслуговування та безпеки. Замінивши вилки, розетки та динамічні кабелі набором котушок для індуктивної передачі потужності, бездротова зарядка може отримати значні переваги перед дротовими рішеннями.

Для можливості заряджання поромів, в яких час зарядки є критичним, бездротова зарядка також позбавляє потреби підключати та відключати штекер, використовуючи найкраще час стикування для зарядки акумуляторів. Насправді зарядку можна розпочати, як тільки сторона приймача на судні досить близько знаходиться до сторони передавача на березі. Спрощена модель індуктивної зарядки для судна з основною шиною постійного струму показана на рисунку 1.3.1.

При індуктивній передачі потужності котушки передавача і приймача діють як трансформатор з низькою взаємною індуктивністю. Відносно низька магнітна муфта призводить до високого струму намагнічування, тому ємнісні компенсаційні мережі (P51 та P52 для прикладу послідовно-послідовної компенсації на рис. 1.3.1.) використовуються для генерації реактивної перетворювач джерела напруги та діодний випрямляч відповідно.

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

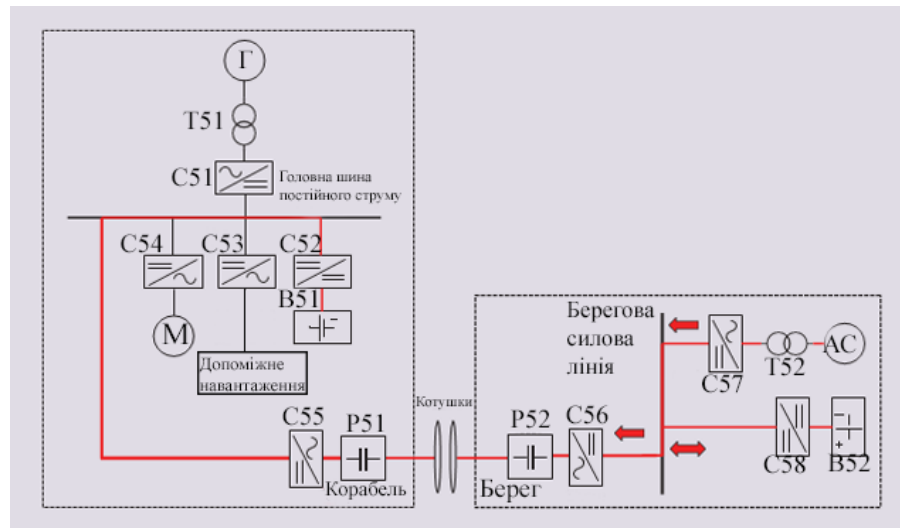


Рисунок 1.3.1 – Індуктивна зарядка на основі шини постійного струму

Як видно, котушки передавача та приймача забезпечують гальванічну розв'язку, усуваючи необхідність в окремому бортовому трансформаторі. Загалом, індуктивна зарядна система пропонує неперевершені переваги з точки зору використання часу стикування для зарядки, особливо в ситуаціях, коли судна часто причалюються на короткий час. Крім того, завдяки збільшеному доступному часу зарядки в бездротовій мережі зарядки, необхідний рівень потужності для зарядки зменшиться, що також допоможе обмежити витрати на інфраструктуру.

Незважаючи на те, що індуктивна зарядка пропонує унікальні переваги, вона створює кілька викликів, наприклад, щодо вартості та ваги на борту. Крім того, досяжна ефективність передачі є чутливою до відстані передачі та вимогам до підтримання можливості передачі потужності при невідповідності.

Збільшення частоти передачі та / або розмірів котушки може підвищити ефективність передачі потужності. Однак збільшені розміри котушки збільшать вагу та об'єм, тоді як

проблеми із втратами та регулюванням тепла обмежують потенціал збільшення щільності потужності за рахунок збільшення робочої частоти.

1.4. Метод заміни батареї

Заміна акумуляторів розглядалася як метод швидкої зарядки, особливо для електричних вантажних автомобілів великої вантажопідйомності та електробусів. Це може бути підходящим рішенням для поромів на короткі відстані, які мають критичний час стикування. У цьому методі розряджені бортові батареї обмінюються повністю зарядженими акумуляторами, поки судно стоїть на причалі. Що стосується електромережі, рішення щодо заміни батареї може зменшити негативний вплив зарядних станцій на локальну електромережу, оскільки наземні акумуляторні батареї не заряджаються за короткий час, а можуть заряджатися в непікові періоди дешевшою електроенергією, яка може включати відновлювані джерела енергії (наприклад, сонячну енергію, енергію вітру та гідроенергії).

Іншими словами, використовуючи такий метод, пікове навантаження, спричинене зарядкою протягом короткого часу, може бути розподілене

впорядкованим циклом заміни батареї

Крім того, зазвичай не потрібно використовувати високопотужні перетворювачі для швидкої зарядки, оскільки процес зарядки стаціонарних акумуляторних батарей може здійснюватися протягом ночі або за кілька годин. Однак, залежно від типу та застосування судна - якщо акумулятор розряджається за певний час, то інший акумулятор повинен був би повністю зарядитися в той же час, в іншому випадку потрібне використання більше блоків.

Незважаючи на те, що технологія обміну батареями пропонує кілька переваг, для здійснення процесу обміну може знадобитися велике робототехнічне обладнання та додаткові акумуляторні батареї на суші (наприклад, великі крани для переміщення акумуляторних батарей). Отже, надмірні капітальні витрати на наявність додаткових акумуляторних батарей та механічної інфраструктури повинні бути оцінені з урахуванням можливих переваг цього рішення, два з яких - швидке заправлення та менша шкода для

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

місцевої електромережі. На малюнку 1.4.1 зображена система живлення методом заміни батареї. Коли судно стикується, В51, розряджений акумулятор, замінюється В52, повністю зарядженим акумулятором.

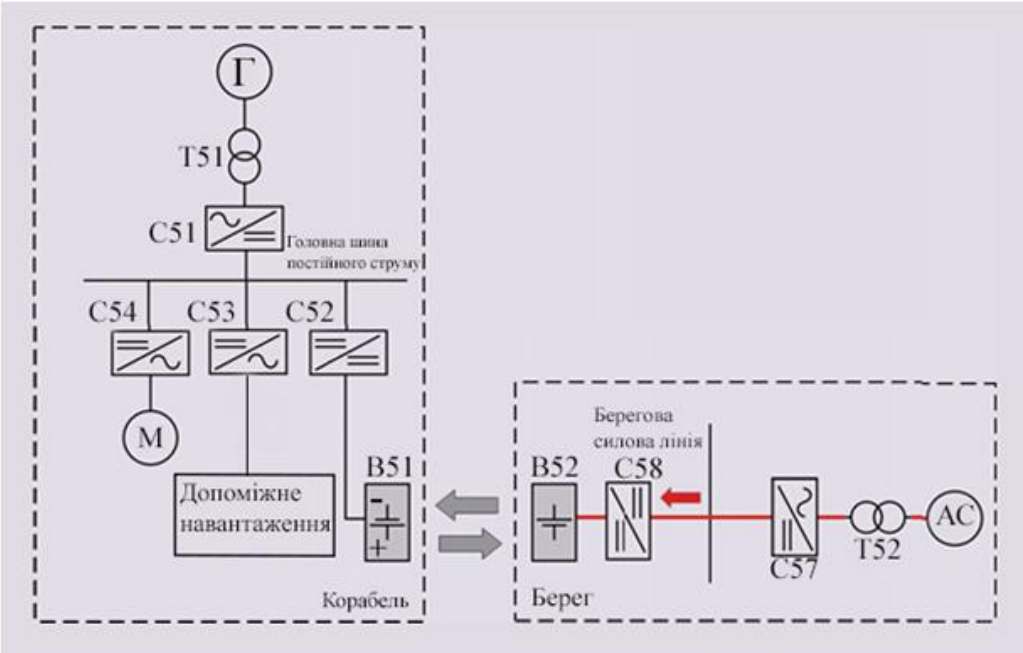


Рисунок 1.4.1 – Метод заміни акумулятора для заряджання порома на основі постійного струму.

Наприклад, одна система потужністю 2,5 МВт повністю зарядить акумулятор потужністю 1 МВт за 24 хвилини. Зазвичай за кожну поїздку заряджається і розряджається лише менша частина бортового акумулятора. Наприклад, 170 кВт-год

1.5. Час для зарядки

Доступний час для заряджання акумуляторів порому який знаходиться на етапі розвантаження / завантаження, який тут розраховується як різниця між передбачуваним часом прибуття та опублікованим часом відправлення. Час прибуття був розрахований на основі 28-хвилинного часу переправи через Сіетл-Бейнбрідж.



Рисунок 1.5.1 – Кількість відвідувань терміналів на день за часом, доступним для оплати, на основі опублікованого розкладу на осінь 2017 року

На рисунку 1.5.1 показано час перебування у терміналі для всіх щоденних поїздок за опублікованим розкладом на осінь 2017 року до терміналу прибуття. Передбачалося розклад руху двох суден для обох маршрутів - Сіетл-Бейнбридж та Едмондс-Кінгстон. Виходячи з розкладу на осінь 2017 року, загальний час, доступний для всієї операції зарядки, передбачався 20 хвилин.

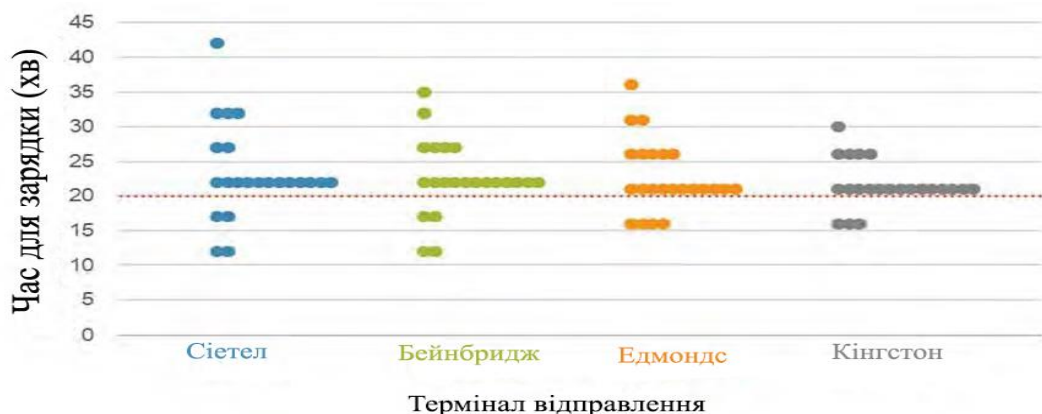


Рисунок 1.5.2 – Кількість відвідувань терміналів на день за часом доби, відповідно до опублікованого розкладу на осінь 2017 року

Близько двадцяти відсотків відвідувань терміналу восени 2017 року займають менше 20 хвилин. Відповідно до графіка, ці випадки трапляються

рано вранці та пізно ввечері, як показано на рисунку 1.5.2. Якщо судно не отримує повного заряду, дизель-генератори забезпечуватимуть додаткову потужність, як тільки батареї порому досягнуть заздалегідь визначеного нижнього граничного стану заряду. Попередньо вказано, що розробники мають намір вилучити лише два вбудовані дизель-генератори з кожного судна, і в цьому випадку можна буде поповнити заряд акумулятора, запустивши один із решта дизельних генераторів під час випадків, коли рівень заряду акумулятора зменшується більше, ніж можна заповнити зарядом.

Навігаційні дані, зібрані на борту М / V Тасома (пробіг Сіетл-Бейнбрідж) та М/В Рууаллур (пробіг Кінгстон-Едмондс), відображають поточний час транзиту та стикування за вересень 2017 року. Існує декілька методів вирішення цієї задачі, які описані в таблиці 1.5.1.

Таблиця 1.5.1. - Оцінка пом'якшення варіацій

Варіант	Переваги	Недоліки
Змінити графік, щоб забезпечити мінімум 20 хвилин у док-станції	Дозволяє рішення з однією вилкою (для коротшого часу зарядки можуть знадобитися дві пробки) Мінімізує розмір / вартість зарядної та енергетичної інфраструктури (коротший час зарядки вимагає більшого обладнання) Жодних змін до проектної витрати палива та викидів Elliot Bay Design Group (EBDG), посилання 31	Можливі питання зв'язків з громадськістю
Збільште енергоспоживання, щоб забезпечити повний заряд за більш обмежений час	Жодних змін до проектних витрат палива та викидів EBDG, посилання 31	Потрібне подвійне рішення. Може знадобитися модифікація енергетичної інфраструктури та технологій
Запустити дизель-генератори, щоб компенсувати зменшення енерговитрат.	Дозволяє розчин з однією вилкою (коротший час зарядки може вимагати двох штекерів) Мінімізований розмір / вартість інфраструктури зарядки та енергопостачання (коротший час зарядки вимагає більшого обладнання)	Збільшення викидів та споживання палива

1.6. Береговий зарядний інтерфейс

Береговий інтерфейс відноситься до тієї частини, яка забезпечує електричне з'єднання між судновими та бортовими енергосистемами для передачі електроенергії. Цей інтерфейс може включати кілька основних елементів, таких як електричне з'єднання, механічні конструкції (наприклад, роботизовані маніпулятори, пантограф та вежі) та системи контролю.

Електричне з'єднання може бути встановлене або за допомогою дротового зв'язку, наприклад, штекерів і розеток, або бездротового зв'язку, як пара котушок передавача і приймача. При розгляді попередніх проектів підключення берега до судна, більшість процедур підключення проводились за сприяння персоналу, який мав би нести кілька важких кабелів, з'єднуючих та від'єднуючих штекерів у розетках. Цей процес зазвичай займає кілька хвилин, залежно від ручних дій. Як видно на рисунку 1.6.1., підключення двох кабелів, кожен з яких забезпечує зарядну потужність 1,2 МВт, здійснюється вручну.

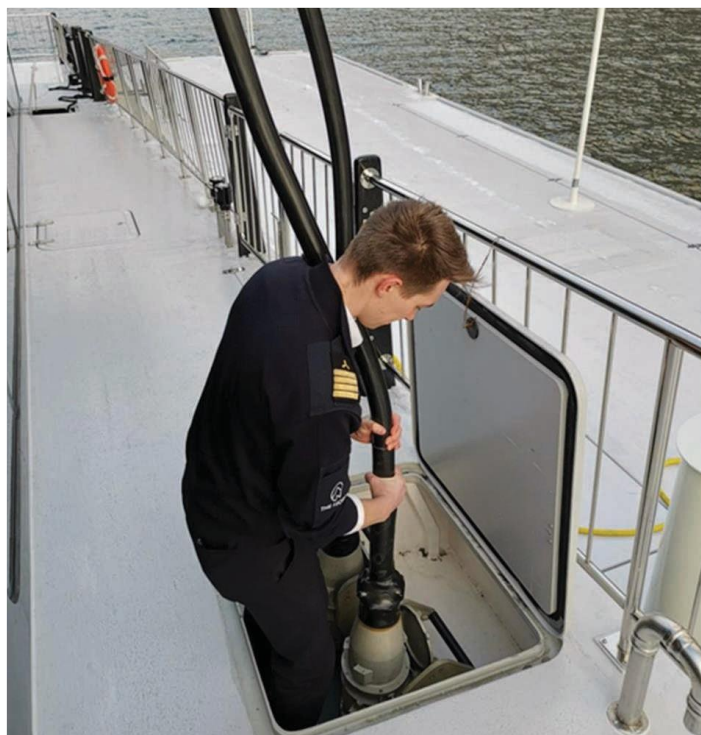


Рисунок 1.6.1 – Ручне підключення двох кабелів для заряджання Future of the Fjords

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6.2 – ABB IRB7600, автономна робота-рука, яка використовується для зарядки MS Aurora та MF Tycho Brahe

Однак для поромів з коротким перебуванням у причалі автоматичні системи підключення не тільки покращать безпеку системи, але й можуть максимізувати час, доступний для зарядки під час стикування, наприклад, за допомогою роботизованого важеля, здатного динамічно рухатись.

Таким чином, потрібні автоматичні системи підключення, хоча вони можуть додати складності та вартості береговій інфраструктурі. Для суден тривалого перебування, час необхідний для підключення, є менш критичним, оскільки час підключення та відключення завжди буде невеликою частиною часу стикування. Однак все-таки може бути корисним використання автоматичних систем штекерів, оскільки вони забезпечують більшу безпеку і можуть працювати з важкими високовольтними кабелями.

NG3 PLUG - це автоматизований з'єднувач, який використовується для зарядки. У типовій системі PLUG (рисунок 1.6.3.), коли корабель пристикований, повзунок, з'єднаний з ланцюгом з боку корабля над набережною, опускається, щоб дістатися до роз'єму на березі. Далі повзунок закріплюється на роз'ємі з боку набережної. Потім ланцюг піднімає штекер до роз'єму з боку судна. NG3 PLUG використовується для забезпечення Hybrid Color 2,5 МВт на ніч зарядки і 6,5 МВт днем зупинки зарядки.

На поромах MS Aurora та MF Tycho Brahe для автоматичного підключення кабелів через штепсель до вбудованого зарядного порту

					171.6321M.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

використовується ABB IRB7600, автономний робот-маніпулятор. Він розміщується на суші, а процедура підключення починається з включення робота, щоб бути готовим до запуску механічного з'єднання, коли паром наближається до порту. Він оснащений 3D-лазерною системою позиціонування для розпізнавання борту суден у важких умовах.

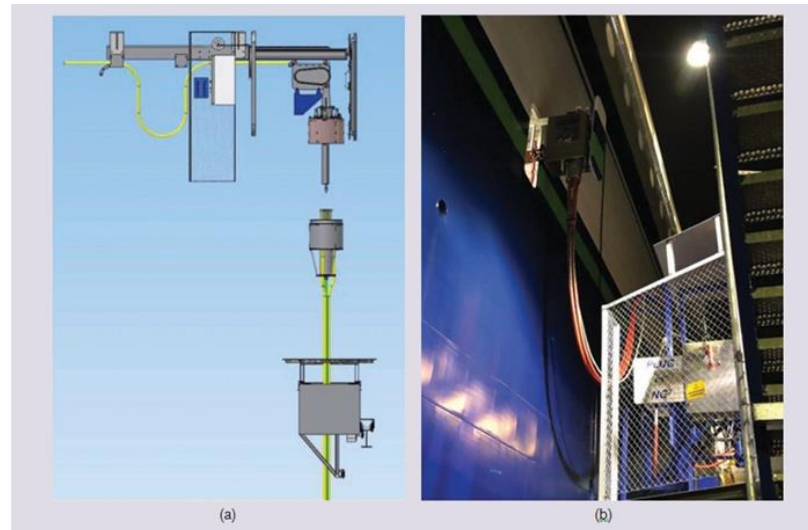


Рисунок 1.6.3 – (а) Типова структура PLUG та (б) PLG NG3, що використовуються для зарядки Color Hybrid

Ще одним рішенням, яке використовувалось для зарядки MF Ampere та MF Elektra, є башта автоматизованої роз'ємної системи компанії Cavotec. Як показано на малюнку 1.6.4., з верхньої частини вежі заглушка автоматично опускається в бортову ємність, що забезпечує гнучкість для низьких і високих рівнів води. Використовуючи автоматичний механізм, процес заряджання може розпочатися через 1 хв після причалу судна. Щоб зробити пором нерухомим після причалювання, використовується вакуумна причальна система.

У зв'язку з цим загальна система управління C35 зображена на рисунку 1.16., яка включає в себе блок синхронізації (типово фазовий контур), контролер струму, модулятор ширини імпульсу - генератор уляції (ШІМ) (який генерує сигнали для ключів у перетворювачі потужності) та контролери зовнішнього

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

контуру для потоку потужності або постійної напруги та змінної напруги або реактивної потужності. Окрім мережевого інтерфейсу, є береговий акумулятор, система якого була використана для E-Ferry Ellen як зарядний пристрій постійного струму потужністю 4 МВт, як показано на рисунку 1.6.4.



Рисунок 1.6.4. – Вежа автоматизованої роз'ємної системи Cavotec, що використовується для зарядки MF Elektra



Рисунок 1.6.5 – Автоматизована зарядна система фірми Cavotec для автоматичного з'єднання з точкою зарядки на носі порома

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6.7. — Зарядна станція на базі постійного струму Mobimar Nectors для E-Ferry Ellen.

Stemmann-Technik FerryCHARGER - це ще одна комерційна автоматизована система заряджання на основі контактів для акумуляторних електричних суден, як показано на рисунку 1.6.8.. Ця система використовує пантограф, який здатний переміщатися вертикально на 15 футів всередині башти та на 1,3 фута по горизонталі. Процес підключення завершується протягом 10 с, і зарядка може розпочатися відразу після встановлення контакту.

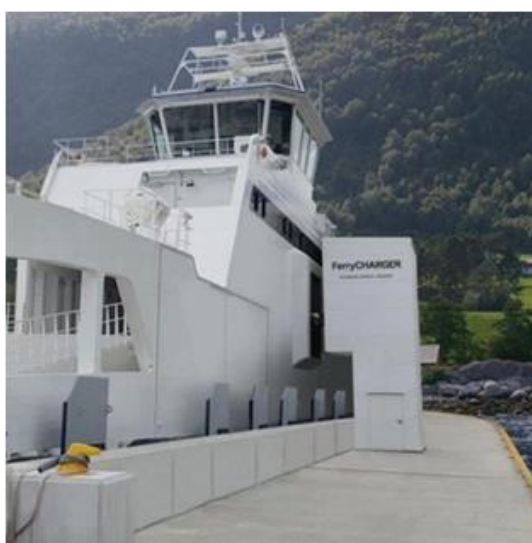


Рисунок 1.6.8. – Блок Stemmann-Technik FerryCHARGER

					171.6321M.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



Рисунок 1.6.9. – Індуктивна зарядна система Wärtsilä для зарядки MF Folgefönn

Для Ampere передбачено два з'єднання: FerryCHARGER на базі пантографа та вежу Cavotec APS, подібну до системи на рисунку 1.6.9..

Система пантографа є кращою, оскільки вона швидше підключається та забезпечує більше ступенів свободи при стиковці. Що стосується системи конекторів, оператор повинен зачекати, поки рука не витягнеться, перш ніж опускати конектор. Більше того, штекер не має великої гнучкості, тому, якщо судно рухається, штепсель може розхитатися, перериваючи заряд і пошкоджуючи контакти.

Окрім встановленого на Ampere поромного пристрою FerryCHARGER, Stemann-Technik пропонує інші рішення, такі як бічні телескопи, пандусні, баштові та носові рішення, здатні забезпечити кілька мегават потужності потужність зарядки.

Zinus ZPP850 (рисунок 1.6.10.) пропонує автоматичне з'єднання берег-корабель поточним потенціалом 4500 А. Він має телескопічний важель, здатний обертатися на 180 °, і 10-метровий діапазон регулювання припливів і відливів. Кронштейн може подавати 20-метрові кабелі в бортовий прийом, що автоматично витягує зарядні кабелі в сухе та безпечне середовище. Як уже згадувалося, індуктивна зарядка є перспективним рішенням для

					171.6321M.KP.ПЗ.Р1	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		28

застосування, оскільки усуває фізичний контакт між берегом і бортом корабля.

Уже є два приклади індуктивної зарядки, які були продемонстровані для акумуляторних електричних поромів.

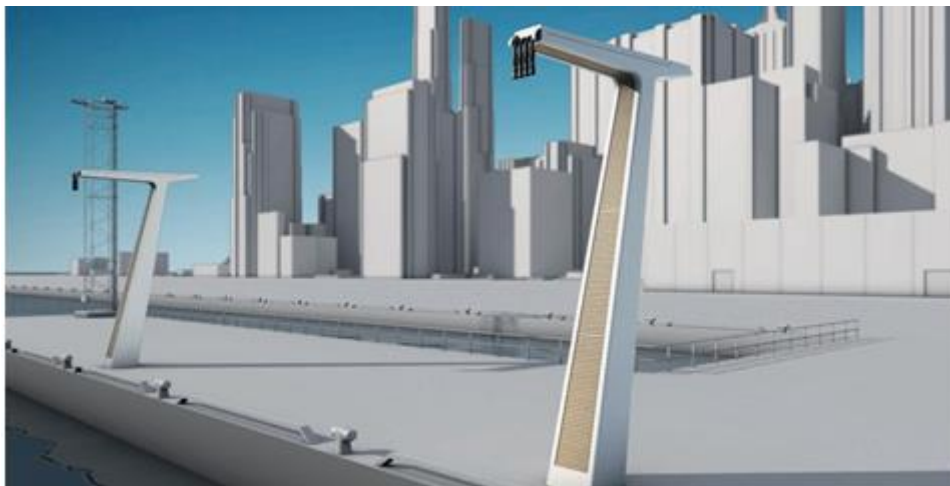


Рисунок 1.6.10 – Система живлення порту Zinus P850

У системі індуктивного заряджання Wärtsilä для MF Folgefonn використовується робототехнічний маніпулятор для переміщення берегової котушки передавача близько до приймальної котушки на кораблі.

Однак цей робот-маніпулятор не відстежує точне положення приймальної котушки на борту судна. Швидше він призначений для компенсації припливних та припливних рухів, які можуть спричинити розбіжності рівня води в декілька метрів у деяких місцях уздовж узбережжя Норвегії. Робототехнічна рука також використовується для переміщення котушки передавача назад у безпечне положення, коли вона не використовується, оскільки іншим суднам може знадобитися док-станція в тому ж місці. Оскільки пряме механічне з'єднання, що вимагає точного позиціонування, виключається за допомогою індуктивної зарядки, процес зарядки можна розпочати, як тільки паром наближається до берегової установки. Використовуючи бездротовий зв'язок між поромом і портом, берегова рука робота може бути підготована до наближення котушки приймача, коли судно наближається до доку, і передача потужності може

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

розпочатися автоматично, коли відстань досить мала. Ця система зарядки могла передавати максимум 1 МВт потужності в діапазоні 15-50 см відстані між котушками.

1.7. Управління живленням: управління перетворювачем живлення

Як правило, в системі зарядки можна розглянути два рівні управління:

1) низькорівневе управління, яке включає управління перетворювачами потужності, тобто регулювання потужності та регулювання напруги в залежності від режиму роботи; і

2) високорівневе управління, що включає систему управління енергією з заданими значеннями потужності та напруги для стабільної та ефективної роботи енергосистеми під час процесу зарядки. Сюди також входять наземні та бортові системи управління акумуляторами, які відповідають за оцінку стану заряду (СУА) та теплового управління та балансування елементів. На інтелектуальній зарядній станції ефективні команди управління видаються на основі розкладу поромів, наземного та бортового СУА та місцевої потужності мережі.

Для аналізу управління перетворювачем потужності розглядається система зарядки постійного струму для системи на основі постійного струму, подібно до системи, показаної на малюнку 1.7.1 (а). У такій системі перетворювачі потужності, що беруть участь у шляху зарядки, мають різні цілі управління. На береговій станції мережа з'єднана через трансформатор і випрямляч. Перетворювач C35 відповідає за контроль напруги постійного струму на береговій шині і може забезпечити регулювання напруги на стороні змінного струму або регулювання реактивної потужності з урахуванням питань якості електроенергії для мережі. Зазвичай для C35 вибирають дворівневий перетворювач джерела напруги. У зв'язку з цим загальна система управління C35 зображена на рисунку 1.16., яка включає в себе блок синхронізації (типово фазовий контур), контролер струму,

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

модулятор ширини імпульсу - генератор ШІМ (який генерує сигнали для ключів у перетворювачі потужності) та контролери зовнішнього контуру для потоку потужності або постійної напруги та змінної напруги або реактивної потужності. Окрім мережевого інтерфейсу, є береговий акумулятор, підключений до берегової шини через двонаправлений перетворювач постійного струму. Існує два режими роботи перетворювача С36: 1) зарядка від мережі та 2) розрядка на корабель.

Для літій-іонних акумуляторів процес зарядки зазвичай починається з постійного струму, тоді як напруга акумулятора зростає до моменту, коли напруга батареї досягає заданого значення, тоді зарядка продовжується з постійною напругою та низхідним струмом. Контролер для такого перетворювача постійного струму постійного струму складається з блоку управління потужністю, який забезпечує відстеження опорної потужності і включає внутрішній контур управління струмом, а також блок ШІМ. Подібним чином, для вбудованого акумулятора, перетворювач С32 контролює потужність зарядки. Таким чином, він регулює потужність зарядки, коли судно стоїть на причалі, і розрядку потужності, коли судно експлуатується. Механізм управління може бути таким же, як і для перетворювача С36.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

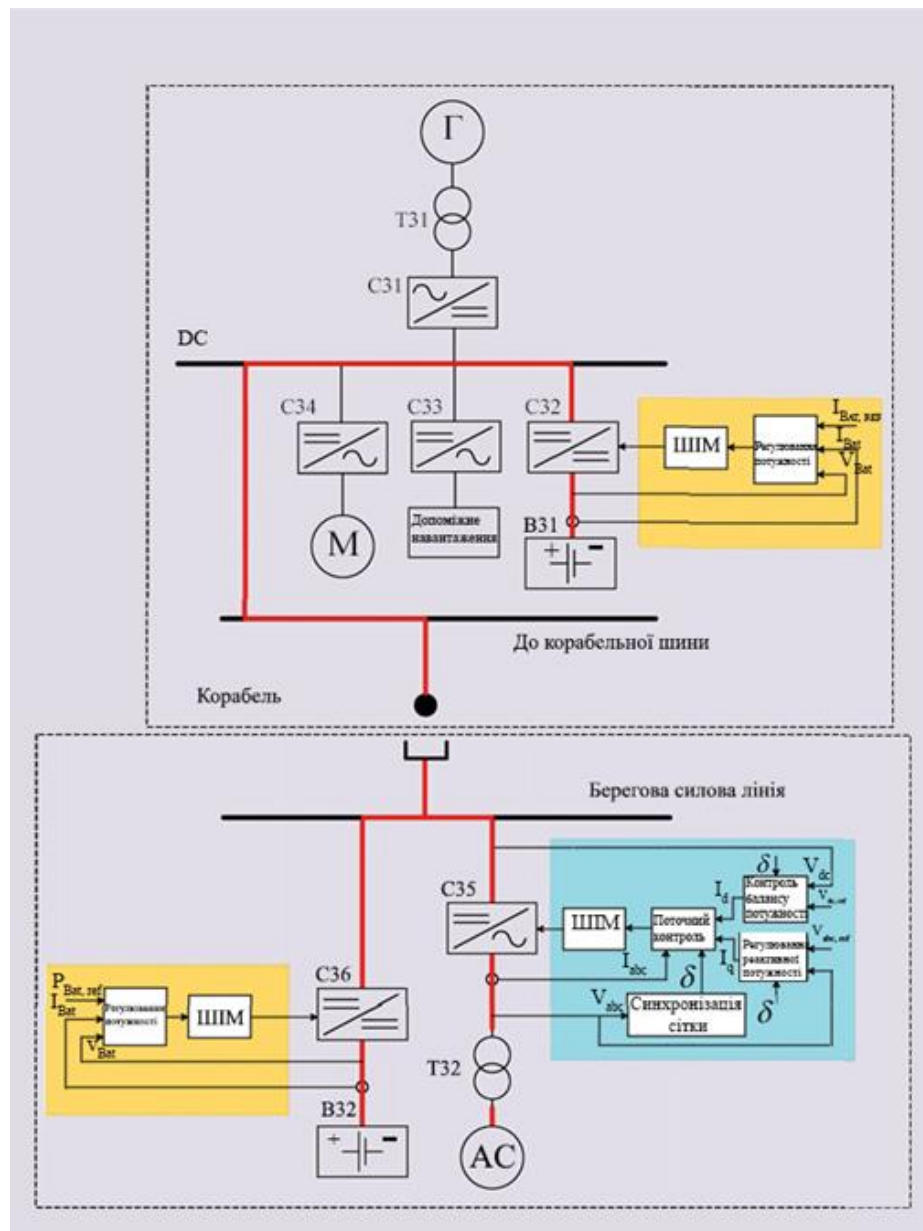


Рисунок 1.7.1 – Приклад системи управління перетворювачем для зарядки постійного струму, що застосовується для порому на основі постійного струму

1.8. Контроль системи живлення

Щоб обговорити контроль на високому рівні, краще проаналізувати бортовий та наземний контролери окремо, оскільки вони можуть сильно залежати від типу програми. Приклад схеми управління на зображений на рисунку 1.8.1. Як згадувалося в попередніх розділах, наземні акумуляторні батареї перезаряджаються з мережі та розряджаються в бортові батареї, тому

для зарядної станції існує чотири режими роботи: 1) заряджання берегових акумуляторів, коли жодне судно не підключене; зарядка базується лише на живленні від мережі, 3) передача потужності на судно лише від берегових батарей, і 4) передача потужності на судно як від мережі, так і від берегових батарей. Берегові акумулятори, як правило, заряджаються за ніч з низькою потужністю або між поромними док-станціями більшої потужності. Таким чином, в зарядній станції необхідні СУЕ та система управління потужністю (СУП) для формування еталонів загальної потужності зарядки, потужності зарядки та розрядки берегового акумулятора та потужності від мережі.

Окрім потоку потужності, управління напругою берегової шини є ще однією метою наземних контролерів. Крім того, система управління акумулятором (СУА), як правило, використовується для здійснення контролю за батареєю та балансування елементів батареї. СУА взаємодіє з СУЕ, щоб безпечно та оптимально працювати від акумулятора.



Рисунок 1.8.1 – Схема управління системою контролю живлення

Коли пором стоїть на причалі, бортовий контроллер заряджання надсилатиме необхідну зарядну потужність, тому берегова СУЕ повинна визначити частку потужності мережі та берегового акумулятора. Використання берегової акумуляторної батареї зменшує навантаження при роботі з високою потужністю заряджання на локальній електромережі та може зменшити загальні витрати на електроенергію заряджанням у непікові години. З іншого боку, заряджання енергії від берегового акумулятора є

менш енергоефективним, ніж використання мережі, через втрати енергії, що створюються додатковими перетворювачами силової електроніки, що використовуються для взаємодії з наземною батареєю та самою батареєю. Іншими словами, використання енергетичних буферів, таких як наземні акумуляторні блоки, генерує додаткові втрати енергії в процесі зарядки та розрядки наземних акумуляторів. Отже, берегова СУЕ повинна вибрати оптимальну частку джерел з точки зору ефективності передачі енергії, питань якості електроенергії та / або вартості енергії з мережі. На розумній зарядній станції інформація від портової підстанції враховується для прийняття рішення щодо розподілу навантаження між береговими акумуляторами та мережею.

Наприклад необхідна потужність зарядки становить 800 кВт протягом 10 хв, а пором повернеться до причалу для наступної зарядки через 30 хв. Якщо потужність зарядки від мережі та наземного акумулятора становлять 200 кВт та 600 кВт відповідно, то наземний акумулятор можна зарядити постійною потужністю заряду 200 кВт, у проміжок часу, коли порома немає. У цьому випадку потужність, що отримується від мережі, буде постійною. Однак у більшості практичних систем потужність від мережі під час заряджання бортової батареї вища, ніж потужність, необхідна для підзарядки берегової батареї.

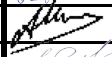
Для бортового СУП існує три стани: 1) робота в повністю електричному режимі, 2) робота в гібридному режимі (або аварійному режимі для повністю електричних поромів) і 3) зарядка з берега. У першому режимі перетворювач, підключений до вбудованих акумуляторних блоків, повинен контролювати не тільки вихідну потужність акумулятора, але й напругу шини постійного струму (оскільки вбудовані генератори не працюють). У другому та третьому режимах перетворювач С32 контролює лише заряд акумулятора. Крім того, щоб уникнути нестабільності під час процесу зарядки, коли бортова шина постійного струму підключена до

					171.6321M.KP.ПЗ.P1	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

берегової шини, не слід дозволяти роботі двох перетворювачів одночасно з контролерами постійної напруги РІ. У разі безпосередньо підключених бортових акумуляторів повинен існувати спеціальний наземний перетворювач для управління потужністю зарядки, що робить наземні СУЕ та СУП більш складними. Під час процесу зарядки за допомогою вбудованого СУП здійснюється контроль стану заряду та рівня напруги бортових батарей, а також команд запуску та зупинки.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Уведіть текст тут

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Бондаренко Д.С.			ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТУЖНОЇ СУДНОВОЇ БЕЗДРОТОВОЇ ЗАРЯДНОЇ СИСТЕМИ	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							36	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Жук О. К.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТУЖНОЇ СУДНОВОЇ БЕЗДРОТОВОЇ ЗАРЯДНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Особливості впровадження суднових рухових установок на акумуляторах

В даний час морські рухові установки зазнають трансформацію, що забезпечується наявністю літій-іонних батарей з високою ємністю зберігання енергії при постійно знижуваних витрати на їх виробництво. Установка акумуляторів в силових дизель - електричних установках з сильно змінними профілями навантаження вже довела свою економічну доцільність завдяки досягній економії палива. Крім того, використання акумуляторів потенційно може забезпечити без емісійну експлуатацію в екологічно чутливих місцях, в гаванях і поблизу густонаселених районів. Для перевезення на короткі відстані по маршруту бортові акумуляторні батареї також можуть забезпечувати роботу з нульовим рівнем викидів за умови, що батареї можуть бути досить заряджені на кожній зупинці.

Перед суднобудівної промисловістю стоїть завдання розробки технології для двоконтурних поромів на електроживленні, які будуть експлуатуватися для коротких переходів. В результаті успішних демонстрацій технології в Норвегії, багато поромні маршрути, як очікується, можуть бути переведені на повністю акумуляторну або гібридну роботу під час майбутніх переходів з часом стикування, який може становити всього 4-5 хвилин. Щоб поліпшити використання наявного часу стикування, були розроблені і випробувані спеціальні методи з'єднання на перших поромках з живленням від акумулятора. MS Ampere, який був першим повністю працюючим від акумуляторів норвезьким автомобільним поромом, який почав регулярну експлуатацію, наприклад, був оснащений двома альтернативними, спеціально розробленими зарядними пристроями. Одне з рішень використовує гравітаційну вилку, яка опускається в спеціально сформовану

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

розетку, в той час як інше рішення спирається на трифазний пантограф з датчиком.



Рисунок 2.1.1 – Пором на аккумуляторах MF Ampere

Хоча пороми курсують на короткі відстані можуть експлуатуватися з батареями в якості єдиного бортового джерела енергії, така схема створює безпрецедентні проблеми для технології зарядки батарей. Як правило, такі судна працюють за графіком з коротким часом стикування, що означає, що час, доступне для зарядки, сильно обмежена, в той час як кількість енергії, яка подається на батарею при кожній зупинці, має бути достатнім для підтримки регулярної та безперервної роботи. Це має на увазі необхідність потужної підзарядки. Однак багато пороми працюють у віддалених і сільських районах, де місцеві розподільні мережі мають обмежену пропускну здатність. Тому може знадобитися локальна поява енергії для подачі необхідної потужності під час зарядки без перевантаження наявного джерела живлення або виникнення проблем з якістю локальної напруги. З огляду на певну потребу в енергії для зарядки батарей при кожній обмеженій за часом зупинці на причалі, стає вкрай важливим ефективно використовувати доступний час стикування для передачі енергії бортовим батареям.

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Час, що витрачається на від'єднання зарядного обладнання, скорочує наявний час на передачу енергії, а це, таким чином, підвищує необхідну потужність берегового і бортового обладнання. Більш високі вимоги до зарядної потужності також можуть негативно позначитися на терміні служби акумуляторів.

Встановлені системи передачі електроенергії на судно були розроблені головним чином для забезпечення енергією з берега, щоб дозволити бортовим генераторів зупинятися, коли судно знаходяться в гавані протягом декількох годин або більше. У таких системах час, необхідність ручного або автоматичного з'єднання кабелів з механічними штекерами, не створює істотного впливу на загальну роботу, навіть якщо ефективний час, необхідний для підключення і відключення, може досягати декількох хвилин. Однак час з'єднання більше хвилини неприйнятний для проектування поромів.

Звичайні підходи до зарядки акумуляторів, які можуть бути застосовані до поромів з електричним приводом, все залежать від механічних контактів або штекерів. Таким чином, всі вони будуть схильні до механічного зносу і вимагають щодо точного позиціонування, яке може бути важкодоступним при експлуатації в складних погодних умовах. Крім того, прибережні пором працюють в суворих і засолених умовах, що може бути складним завданням для електробезпеки. Надійні механізми швидкого і автоматичного відключення зарядної системи також необхідні для забезпечення безпеки в разі, якщо порому терміново потрібно покинути док.

Щоб уникнути проблем і обмежень, пов'язаних з механічними сполучними системами для зарядки потужних акумуляторів у вологому приморському середовищі, зарядна система потребує модернізації та застосовувати технології безконтактної індуктивної передачі енергії на судно. Хоча бездротова індуктивна передача енергії добре відома і має широкий спектр застосування, зокрема для зарядки акумуляторів

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

електромобілів, автобусів і залізничних транспортних засобів, для суднових енергетичних установок високої потужності це абсолютно нова концепція.

Дійсно, індуктивна зарядка без будь-якого механічного контакту підходить для повністю автоматизованої роботи без будь-якої потреби в електричних і механічних інтерфейсах, які будуть піддаватися механічному зносу. Крім того, індуктивна передача енергії усуває прямі електричні контакти і проблеми, пов'язані з наявністю великої кількості снігу, льоду або інших забруднень, а також потенційними струмами витоку і корозією в солоному середовищі. Це може підвищити безпеку і надійність зарядки, уникаючи чутливих до положення рухомих частин. Гальванічна розв'язка також невід'ємно передбачена між зарядним обладнанням на суші і бортовою електричною системою. Нарешті, одним з головних переваг є можливість передачі енергії без будь-якої механічної процедури підключення, що дозволяє краще використовувати обмежений час стикування для зарядки акумулятора.

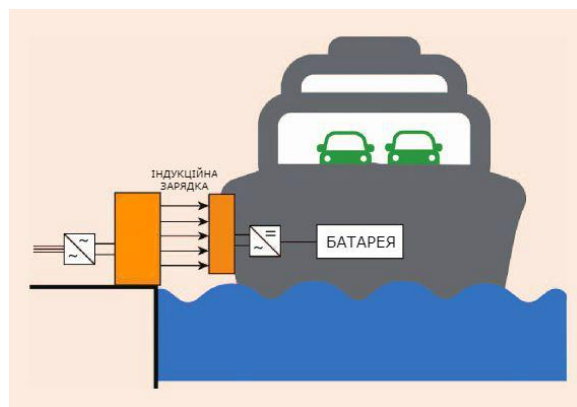


Рисунок 2.1.2 – Система безконтактної індуктивної передачі енергії судну на причалі

Пристрої індуктивної передачі потужності можуть бути розроблені для швидкої передачі енергії кораблю, коли він прибуває в док і до моменту, коли він починає свій наступний рейс.

Ілюстрація передбачуваної системи безконтактної індуктивної передачі енергії судну на причалі показана на рис.2.1.2. для передачі енергії не

					171.6321М.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

потрібно ніякого механічного з'єднання, поки судно може утримуватися в розумному діапазоні навколо його очікуваного положення. Таким чином, було б необхідно для роботи в місцях з великими відмінностями між відливом і припливом, тільки дуже повільне механічне позиціонування берегової системи. Однак одна з проблем розробки такої технології полягає в тому, що рівень потужності значно вище, ніж зазвичай для застосування на автомобілях і потягах. Крім того, динамічні умови експлуатації системи для застосування на поромках можуть бути більш складними через частковий вільний рух судна відносно дока через вітер, хвилі і завантаження / розвантаження судна.

2.2. Аналіз технології високопотужної індукційної зарядки морських суден

Протягом останніх декількох років значні науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи були спрямовані на розробку технології безконтактної індуктивної передачі енергії. Бездротові зарядні системи для електромобілів були широко вивчені дослідниками в академічних і промислових колах. Однак концепції, призначені для застосування в автомобільній промисловості, були розроблені головним чином для підвищення зручності користувачів за рахунок забезпечення бездротового роботи. Таким чином, більша частина уваги громадських і наукових розробок була спрямована на конфігурації, які призначені для заміни звичайних штекерних зарядних пристроїв на рівні потужності в кілька кіловат.

У той же час були зроблені значні зусилля з промислового розвитку більш потужних систем, призначених для використання в громадському транспорті, такому як автобуси, трамваї і потяги. Наприклад, компанія Conductix-Wamplер (пізніше іРt Technology) представила технологію безконтактної індуктивної зарядки для електричних автобусів, яка була продемонстрована в Італії ще в 2002/2003 роках. Пізніше компанія

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Bombardier Primove продемонструвала індуктивну зарядку для автобусів і трамваїв потужністю до 200 кВт. Аналогічні розробки були також проведені KAIST в Південній Кореї для автобусів і поїздів. На основі робіт в KAIST корейський науково-дослідний інститут залізниць представив проект і повномасштабну демонстрацію системи з передавачем потужністю 1 МВт і паралельною роботою кількох прийомних блоків в діапазоні 200 кВт для отримання загальної передачі потужності близько 820 кВт. Однак технічні характеристики і конструкції цих систем не можуть бути безпосередньо застосовані до конкретних завдань, пов'язаних із застосуванням в потужних системах на судах. Впровадження технології індуктивної зарядки в сектор морського транспорту пов'язане з рядом специфічних проблем. Перший з них також найбільш очевидний: поромі вимагають значно більш високих рівнів енергії і потужності для роботи між двома зарядними портами, в порівнянні з міськими автобусами або трамваями. Тому індуктивне зарядний пристрій повинен бути здатний подавати енергію в мегаватного діапазоні потужності, переважно в одному єдиному блоці.

Крім того, для точкової зарядки потужних акумуляторів, автомобільні або залізничні транспортні засоби зазвичай знаходяться в нерухомому положенні під час зарядки. Навпаки, пришвартоване судно може рухатися відносно нерухомої берегової зарядної конструкції під час операції зарядки за рахунок комбінованої дії вітру, хвиль і опадів судна, а також у відповідь на зміну нахилу і опадів, що виникає в результаті навантаження і розвантаження. Система зарядки повинна бути сконструйована таким чином, щоб кількість переданої потужності, а також ефективність і безпеку роботи не наражалися на ризик, не дивлячись на такі переміщення. Це означає, що система повинна володіти високою стійкістю до неузгодженості та змін відстані між котушками і що вона повинна управлятися таким чином, щоб автоматично компенсувати вплив таких змін у відносному положенні.

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Загалом, толерантність до великих позиційним варіацій можна вирішити двома способами. Механічна система позиціонування може знадобитися для однієї з котушок індуктивної системи передачі енергії, щоб зберегти відносне положення двох котушок фіксованим. В якості альтернативи допуск на відхилення в відносному положенні потрібно включити в конструкцію і управління системою. Такий підхід із статичним розташуванням котушок, як на борту, так і на суші, є вкрай бажаним для того, щоб уникнути складних і громіздких пристроїв динамічного позиціонування, які мають шість ступенів свободи, необхідних для відстеження рухів судна. Це особливо важливо, тому що система повинна володіти високою надійністю і здатністю працювати в суворих погодних умовах, що може перешкодити надійному, швидкому і точному управлінню становищем. З іншого боку, вводяться деякі жорсткі вимоги до максимальних варіацій відстані і положення, які зарядний пристрій повинен бути в змозі витримати, зберігаючи при цьому досить високий ККД.

З огляду на всі перераховані вище аспекти і досвід місцевої суднобудівної галузі, було вирішено, що перша практична реалізація стаціонарного індуктивного зарядного пристрою для порома повинна бути розроблена з урахуванням таких вимог:

- можливість передачі потужності не менше 1 МВт
- можливість роботи з повною передачею потужності при будь-яких змінах положень, відповідних діапазону умов зчеплення, при зміні відстані повітряного зазору від 20 до 50 см.

Було б також бажано, щоб розроблена система передачі індуктивної потужності була заснована на технології силових електронних перетворювачів, доступних для застосування в морських приводах в системах з розподілом 690 В змінного струму або 1000 В постійного струму. Однак рівні потужності в мегаватному діапазоні мають значний недолік з точки зору вартості, якщо очікувані зміни положення повинні бути

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

компенсовані надмірними розмірами компонентів системи. Таким чином, зусилля з проектування та розробки були спрямовані на отримання простої конфігурації системи з невеликою кількістю компонентів і мінімальними вимогами до оцінки кожного компонента.

2.3. Топологія і конфігурація системи індукційної зарядки

Через значне зазору між передавальної і приймальної котушками система індуктивної передачі потужності може розглядатися як трансформатор з дуже високим струмом намагнічування, що викликає високе споживання реактивної потужності в порівнянні з активною потужністю, яка може бути передана між котушками.

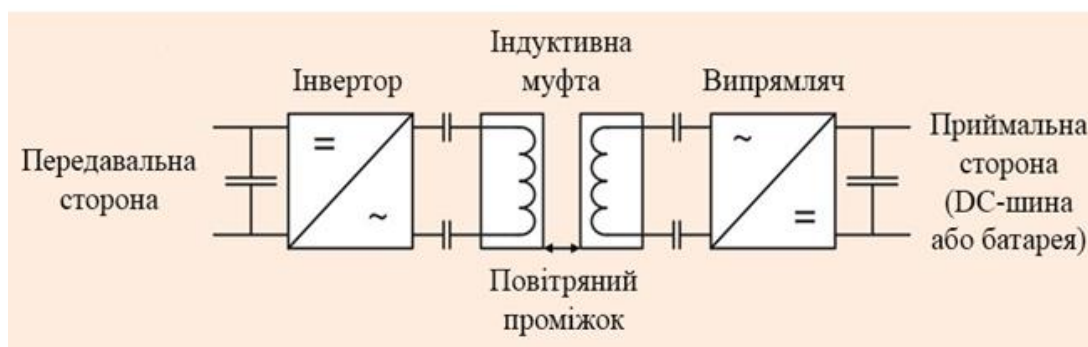


Рисунок 2.3.1 – Структурна схема індуктивної зарядної системи

Таким чином висока ефективність і розумні номінальні значення потужності електронного перетворювача можуть бути досягнуті тільки при використанні резонансних мереж з ємнісною компенсацією по обидва боки зарядної системи для забезпечення вимог реактивної потужності котушок. Послідовна компенсація (ss), як показано на рисунку 2.3.1, зазвичай краща для високопотужних пристроїв, і ця топологія була прийнята за базову конструкцію розробленої системи. У топології ss резонансні конденсатори будуть прикладати високу напругу на котушки, що знизить необхідну номінальну потужність струму котушок і конденсаторів в порівнянні з паралельною компенсацією. Крім того, топологія ss дозволяє проектувати систему на основі стандартної топології перетворювача джерела напруги h-

моста для управління передачею потужності. Топологія ss також має перевагу, що резонансна частота не залежить від умов навантаження і досить нечутлива до змін умов зв'язку між двома котушками.

Предбачувана конфігурація ланцюга для передачі індуктивної потужності має сильний фільтруючий ефект через резонанс між послідовними конденсаторами і індуктивністю котушок, і вона має властивості як смуговий фільтр для струмів, близьких до резонансної частоти. Таким чином, струми в конфігурації, показаної на рисунку 2.3., будуть близькі до синусоїдальних, навіть якщо вхідна напруга, що генерується передавачем інвертором, є прямокутним сигналом. Робота поблизу резонансної частоти також має на увазі, що напруга і струм на обох сторонах системи будуть перебувати у фазі. В результаті робота передавального перетворювача призведе до майже нульового струму комутації напівпровідникових ключів, тим самим обмежуючи втрати.

Для підтримки максимально простої топології на приймальній стороні можна використовувати діодний випрямляч, безпосередньо підключений до батареї або регульовану шину постійного струму, як показано на рис. 3. Однак якщо потрібно певний рівень управління в бортовий енергосистемі, то між доданими випрямлячем і шиною постійного струму на приймальній стороні можна вставити перетворювач постійного струму.

2.4. Аналіз конструктивних елементів індукційних котушок

Положення порома зазвичай має невеликі поздовжні відхилення, коли він пришвартований. Таким чином, очікувані зміни положення під час зарядки будуть в основному пов'язані з безперервним рухом вгору - вниз через завантаження / розвантаження судна. Бічні руху, які збільшують або зменшують довжину повітряного зазору, а також руху крену / тангажу з - за вітру, хвиль і опади, також можна очікувати, в залежності від систем швартування. Щоб врахувати більший діапазон очікуваних зміщень в

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

напрямку вгору-вниз, для застосування на породах була віддано перевагу подовжена конструкція котушок, як показано на рисуюнок 2.4.1.

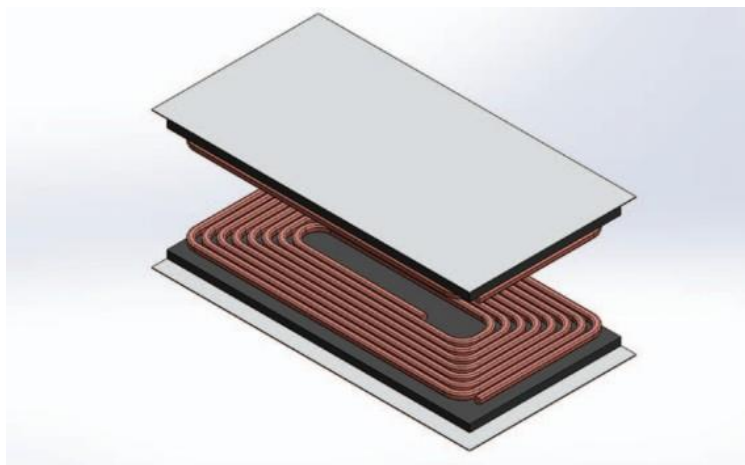


Рисунок 2.4.1 – Конструкція індукційних котушок

Конструкція котушок, включаючи вибір числа витків, робочої частоти, основних розмірів і необхідної товщини магнітної задньої панелі, була заснована на аналітичних моделях розрахунку магнітних полів, необхідного обсягу і результуючого ККД і була ретельно перевірена методом скінченних елементів (МСЕ) аналізу. В цілому було встановлено, що при наявних матеріалах і вимогах до охолодження котушок з робочою частотою в діапазоні 2-8 кГц здатність передачі потужності становить приблизно 500 кВт / м². На обраний діапазон робочих частот також впливає переважне використання доступних модулів h-моста, похідних від стандартних VSC 690 В на базі 1,7-кВ ізолюваного затвора-біполярного транзистора (igBt).

Аналіз МКЕ, показує щільність енергії (за колірною шкалою) і потік потужності (по білим лініях) в поперечному перерізі між двома котушками, показаний на Рис. 2.4.2 для двох різних умов експлуатації. Обидва випадки, показані на малюнку, відповідають номінальній передачі потужності в 1 МВт. На рисунку 2.5(а) показана робота, коли дві котушки ідеально вирівняні на максимальній відстані повітряного зазору 50 см між обмотками. В якості альтернативи на рисунку 2.5 (б) показана робота з тим же потоком потужності, але в неспіввідношенні положення і дещо зменшеній величині

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

повітряного зазору, відповідному найгіршим очікуваним, неспіввісність в напрямку вперед - назад.

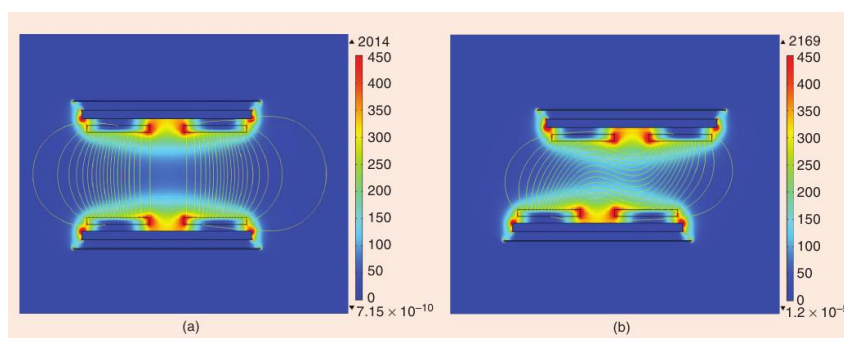


Рисунок 2.4.2 – Аналіз МКЕ, що показує енергетичну сутність [кольорова шкала від 0 (синя) до 450 (червона) Дж / м³] та поле потоку потужності (щільність потужності пропорційна відстані між білими лініями) у (а) вирівняно та (б) невідповідні умови.

Подібні аналізи МКЕ використані для перевірки електричних параметрів системи в різних положеннях та для проектування необхідного екранування для відповідності стандартам для магнітних полів. Загалом, область за котушками може бути повністю захищена від магнітних полів за допомогою магнітної задньої пластини та екранування провідниковими матеріалами. Таким чином, пасажери на борту судна не будуть піддаватися впливу будь-якого магнітного поля через роботу індуктивного зарядного пристрою на зовнішній стороні металевого корпусу. Однак на береговій стороні слід забезпечити певну безпечну відстань навколо котушки, для забезпечення відповідності нормам, залежно від величини екрану, встановленого на зовнішній стороні корпусу судна та в прибережній зоні навколо зарядного пристрою.

2.5. Аналіз основних енергетичних показників ІЗС

На рисунку 2.5.1 наведена топологія ІЗС з серієсно-серієсною (SS) ємнісною компенсацією реактивної потужності, а на рисунку 2.5.2 – еквівалентна розрахункова схема цієї системи.

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

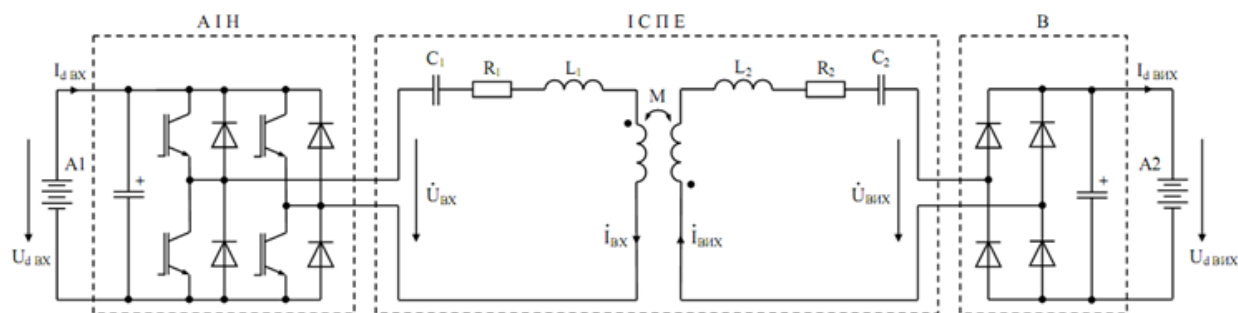


Рисунок 2.5.1. – Топологія типової ІЗС

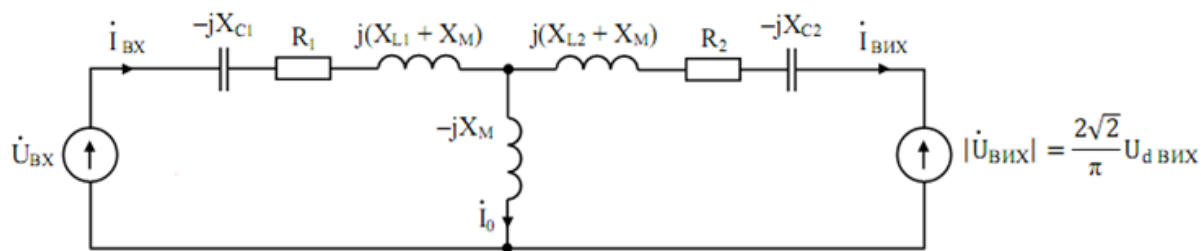


Рисунок 2.5.2 – Еквівалентна розрахункова схема ІЗС

Прийняті позначення: $R_1, L_1; R_2, L_2$ – активні опори та індуктивності розсіювання передавальної і приймальної котушок; M – взаємна індуктивність котушок; C_1, C_2 – компенсаційні ємності. Обидва контури (вхідний і вихідний) налаштовані на однакову резонансну частоту.

$$\omega_0 = \omega_{0 \text{ ВХ}} = \omega_{0 \text{ Вых}} = 1/(L_1 C_1)^{1/2} = 1/(L_2 C_2)^{1/2} = 2\pi f_0$$

При аналізі використовуємо гармонічну апроксимацію змінних напруг і струмів; навантаження розглядаємо як еквівалентний опір. Діючі значення комплексів вхідної і вихідної напруги і струму

$$0 \leq U_{\text{ВХ}} \leq 2\sqrt{2} U_{\text{d ВХ}}/\pi ; \quad U_{\text{Вых}} = 2\sqrt{2} U_{\text{d Вых}}/\pi ; \quad (2.1)$$

$$I_{\text{ВХ}} = \pi I_{\text{d ВХ}}/(2\sqrt{2}) ; \quad I_{\text{Вых}} = \pi I_{\text{d ВХ}}/(2\sqrt{2}) . \quad (2.2)$$

Еквівалентний опір навантаження

$$R_{\text{ЕК}} = \frac{U_{\text{Вых}}}{I_{\text{Вых}}} = \frac{8}{\pi^2} \frac{U_{\text{d Вых}}}{I_{\text{d ВХ}}} \quad (2.3)$$

У [2.2] показано, що максимальний ККД індуктивної системи передачі енергії

$$\eta_{\max} = k^2 Q_1 Q_2 / (1 + (1 + k^2 Q_1 Q_2)^{1/2})^2 \cdot \quad (2.4)$$

досягається за умови

$$a = R_{\text{ЕК}} / R_2 = (1 + k^2 Q_1 Q_2)^{1/2} \cdot \quad (2.5)$$

де $k = M / (L_1 L_2)^{1/2}$ – коефіцієнт зв'язку; $Q_1 = \omega_0 L_1 / R_1$;

$Q_2 = \omega_0 L_2 / R_2$ – добротності котушок зв'язку.

Теоретично максимальна величина ККД системи може досягати 97%.

Елементарний аналіз резонансного режиму еквівалентної схеми з нульовими втратами показує, що за умови $\dot{U}_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}$:

$$i_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВІХ}} / X_M; \quad i_{\text{ВІХ}} = -j U_{\text{ВХ}} / X_M; \quad \dot{U}_{\text{ВІХ}} = j U_{\text{ВІХ}} \cdot$$

Тоді виходить, що комплексні і активні потужності вхідного і вихідного контурів співпадають за модулем, але протилежні за знаком, тобто вхідний контур є генеруючим, а вихідний – споживаючим:

$$\tilde{S}_{\text{ВХ}} = -\tilde{S}_{\text{ВІХ}} = P_{\text{ВХ}} = -P_{\text{ВІХ}} = U_{\text{ВХ}} U_{\text{ВІХ}} / (\omega_0 M); \quad (2.6)$$

Номінальна передана потужність ІЗС

$$P_{\text{НОМ}} = U_{\text{ВХ НОМ}} U_{\text{ВІХ НОМ}} / (\omega_0 M_{\text{НОМ}}) \cdot \quad (2.7)$$

За умови $M = \text{const}$ і $U_{\text{ВІХ}} \approx \text{const}$ передану потужність можна регулювати лише зміною $U_{\text{ВХ}}$. Якщо через зміну позиціонування котушок взаємна індуктивність змінюватиметься у діапазоні $M_{\min} \leq M \leq M_{\max}$ (при цьому вважається, що у слабо зв'язаних системах індуктивності L_1 і L_2 , а отже і резонансні частоти обох контурів ω_0 залишаються сталими), то при номінальній переданій потужності $P_{\text{НОМ}}$ виконуються наступні співвідношення:

$$P_{\text{НОМ}} = U_{\text{ВХ max}} U_{\text{ВІХ}} / (\omega_0 M_{\max}) = U_{\text{ВХ min}} U_{\text{ВІХ}} / (\omega_0 M_{\min}) \quad (2.8)$$

Отже, у резонансному режимі ІЗС з регульованою вхідною напругою U_{BX} забезпечується одиничний коефіцієнт потужності у всьому діапазоні зміни взаємної індуктивності M . Це означає, що

$$P_{НОМ} = U_{BX \max} I_{BX \min} = U_{BX \min} I_{BX \max} . \quad (2.9)$$

Таким чином, максимальне значення необхідної встановленої потужності передавального АІН

$$S_{BX \max} = U_{BX \max} I_{BX \max} = \left(M_{\max} / M_{\min} \right) P_{НОМ} = \left(k_{\max} / k_{\min} \right) P_{НОМ} . \quad (2.10)$$

Останній вираз свідчить про те, що встановлена потужність пропорційна відношенню максимального і мінімального значень k , тобто, чим більшим є діапазон зміни коефіцієнта зв'язку k , тим вищим буде необхідний номінал встановленої потужності АІН при заданому номіналі переданої активної потужності.

2.6. Розробка системи та мінімізація вимог до запасу потужності

Для індуктивних зарядних систем із компенсацією ss необхідний струм для передачі певної потужності, як правило, збільшується на більшій відстані передачі. Ослаблення з'єднання внаслідок збільшення відстані повітряного зазору також призведе до нижчої еквівалентної намагнічувальної індуктивності, що означає, зменшення напруги, необхідної для передачі потужності. Ігноруючи втрати в системі та припускаючи роботу в резонансі з напругою та струмом у фазі на стороні, передавача, а також на стороні приймача, добуток струму та напруги повинен залишатися постійним, щоб передавати постійну потужність незалежно від умов магнітного зв'язку. Як результат, якщо відстань повітряного проміжку збільшити так, що коефіцієнт зчеплення зменшиться вдвічі, необхідний струм буде подвоєний, тоді як необхідна напруга зменшиться вдвічі. Для звичайної роботи з відстеженням резонансної частоти всі компоненти системи повинні бути розраховані на необхідну напругу на мінімальній відстані повітряного проміжку та

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

максимальні струми, що виникають при найнижчих очікуваних умовах зчеплення (тобто максимальній відстані повітряного зазору). Варіації величини повітряного зазору, як вимога до конструкції, стосуються вибраної концепції, що відповідає діапазону коефіцієнтів зчеплення, де найвище значення приблизно втричі перевищує найнижче значення.

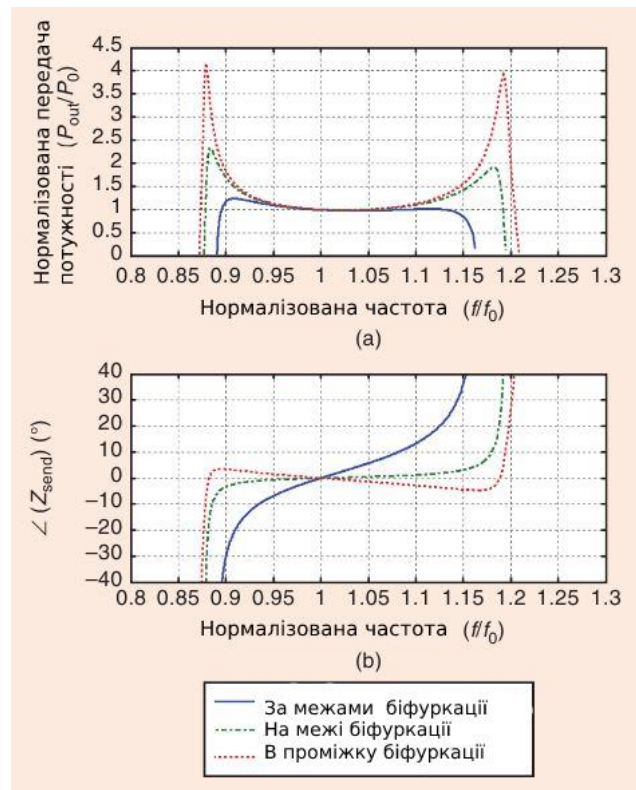


Рисунок 2.6.1 – Частотні характеристики індуктивної системи передачі потужності поза біфуркаційною областю, при біфуркації та в біфуркаційній області для (а) передачі потужності та (б) фазового кута імпедансу

При звичайній роботі в резонансі це означало б, що все котушки, конденсатори, дроти і напівпровідникові прилади повинні бути розраховані на триразовий номінальний струм при номінальній напрузі. Такі рівні переоцінки істотно вплинули б на вартість і матеріальні вимоги до системи. Одним з важливих властивостей конденсаторної-компенсованих ланцюгів для індуктивної передачі потужності є те, що існує певний набір умов роботи, при яких частотні характеристики вхідного імпедансу, тобто імпедансу, що спостерігається з висновків передавального перетворювача,

зазнають фундаментальних змін. Це явище відоме як біфуркація, і приклад показаний на рисунку 2.6.2. На рисунку 2.6.2 (а) показані частотні характеристики нормованої здатності передачі потужності, а на рисунку 2.6.2 (б) - фазовий кут вхідного імпедансу. З рис. 2.6.2 (б) видно, що система поза біфуркаційною областю має кут імпедансу, який безперервно збільшується з частотою і перетинає нуль тільки на резонансній частоті.

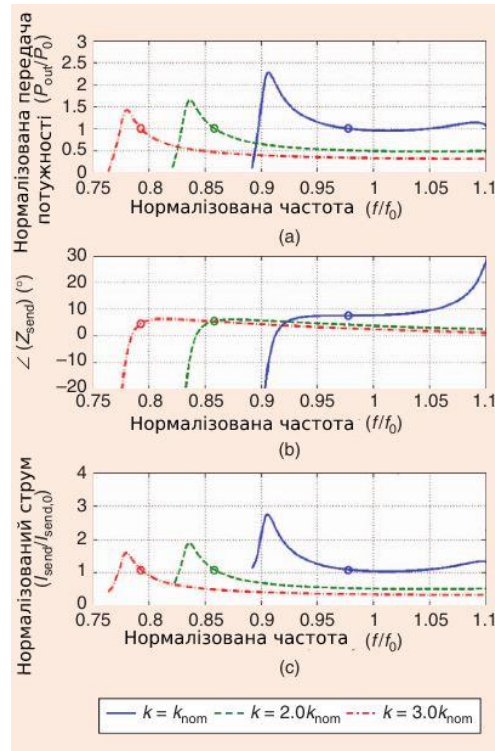


Рисунок 2.6.2 – Частотні характеристики і точки запуску для передачі номінальної потужності системою індуктивного передавання потужності при роботі в різних умовах зчеплення з конструкцією в області біфуркації

На межі біфуркації фазовий кут все ще перетинає нуль тільки на резонансній частоті, але похідна фазового кута щодо частоти в цій точці стає нульовою. Коли система входить в роздвоєну область, фазовий кут перетинає нуль на трьох частотах, тобто в двох додаткових точках нижче і вище резонансної частоти. Таким чином, нахил фазового кута щодо частоти негативний в області навколо резонансної частоти. в роздвоєній області здатність системи до передачі енергії також має два сильно виражених піка

нижче і вище резонансної частоти, як показано на рисунок 2.6.2 (а). Більшість систем індуктивної передачі потужності призначені для роботи поза біфуркаційною областю, щоб уникнути впливу на управління системою, які раптова зміна фазових характеристик на межі біфуркації може створити. Крім того, багато систем проектується далеко від біфуркаційної області, де характеристики передачі потужності мають тільки один єдиний пік, який з'являється на резонансній частоті. У таких випадках робота на нерезонансній частоті буде зменшувати передачу потужності, в той час як фазовий кут завжди збільшується з частотою. Ця характеристика була використана в стратегіях управління для регулювання потоку потужності в системах індуктивної зарядки на частотах вище

резонансної частоти. Однак фазовий кут, що виникає в результаті збільшення частоти, тягне за собою зниження коефіцієнта потужності для роботи поза резонансу, і це запобігає роботі з близьким до нуля струмом в моменти перемикання передавального перетворювача.

Щоб уникнути великого завищення, необхідного для підтримки резонансної роботи у всьому очікуваному діапазоні умов зв'язку, і низького коефіцієнта потужності, що виникає в результаті звичайного частотного регулювання поза біфуркаційною областю, розроблена потужна індуктивна зарядна система, призначена для роботи в межах біфуркаційної області. Таким чином, система повинна бути розрахована на роботу в області між резонансною частотою і одним з піків в характеристиках передачі потужності. На пікові значення характеристик передачі потужності також можна впливати шляхом настройки резонансних конденсаторів і розбалансуванням напруг на кожній стороні системи, що розширює можливості управління потужністю методу. При правильному використанні характеристик системи в біфуркаційній області можна отримати набір частотно-силових характеристик при різних умовах зв'язку, як показано на загальному прикладі на рисунку 2.6.2.

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

На цьому малюнку показано, як здатність передачі потужності при високих умовах зв'язку і фіксованій вхідній напрузі може бути збільшена при роботі на нерезонансних частотах. На малюнку також показано, як номінальний потік потужності може підтримуватися при високих умовах зв'язку за рахунок зниження робочої частоти в нерезонансній області.

Крім того, це забезпечує злегка індуктивну роботу передавального перетворювача, що допоможе мінімізувати комутаційні втрати. Крім того, можна було б підтримувати здатність передачі потужності у відповідь на збільшення магнітного зв'язку шляхом збільшення частоти. Це буде невигідно по відношенню до комутаційних втрат, так як струм в передавальному перетворювачі стане ємнісним, що призведе до більш високих втрат при включенні. Однак напруга на резонансних конденсаторах буде знижена за рахунок більш високої частоти роботи.

Для використання у високопотужних системах конструкція може бути заснована на роботі в резонансі, коли котушки знаходяться в положеннях, відповідних мінімальному (або номінальному) коефіцієнту зв'язку. Якщо зчеплення збільшується, то робоча частота повинна бути зменшена для підтримки потоку потужності, як показано на рисунку 2.9 Частота також може бути використана для регулювання потоку потужності до більш низького значення, ніж повна номінальна потужність. Однак для регулювання потужності нижче номінальної при мінімальних умовах зв'язку напруга на передавачі має бути зменшено шляхом введення нульових станів напруги в вихідну напругу перетворювача. Таким чином, для управління роботою індуктивної системи передачі потужності з використанням біфуркаційних характеристик резонансних контурів необхідно реалізувати комбіноване частотно-вольтове регулювання. За допомогою цього підходу індуктивна передача потужності в мегаватному діапазоні може бути досягнута без необхідності будь-якої значної переоцінки компонентів. Відповідна конструкція системи управління може потім гарантувати, що

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

робота системи автоматично адаптується для підтримки бажаної передачі потужності незалежно від будь-яких безперервних змін в з'єднанні між котушками через відносні переміщення судна щодо берегової установки.

2.7. Полномасштабні випробування

Індуктивна система передачі енергії, що відповідає викладеним вимогам для застосування на поромках, була сконструйована компанією Wärtsilä Norway і випробувана в її лабораторних установках для поромів. Були сконструйовані і випробувані дві ідентичні котушки для повного діапазону очікуваних умов експлуатації. Повномасштабна установка для індуктивної передачі потужності, що складається з котушок, резонансних конденсаторів і перетворювачів відповідно до конфігурації, наведеної на рисунку 2.7.1, була випробувана шляхом циркуляції потужності в лабораторній мережі. Таким чином, на приймальній стороні був підключений додатковий перетворювач постійного струму для розв'язки напруги від передавального перетворювача. Це також забезпечувало можливість проведення початкових випробувань системи при зниженій напрузі. Робота системи може бути протестована в різних умовах за допомогою побудованої повнорозмірною випробувальної установки.

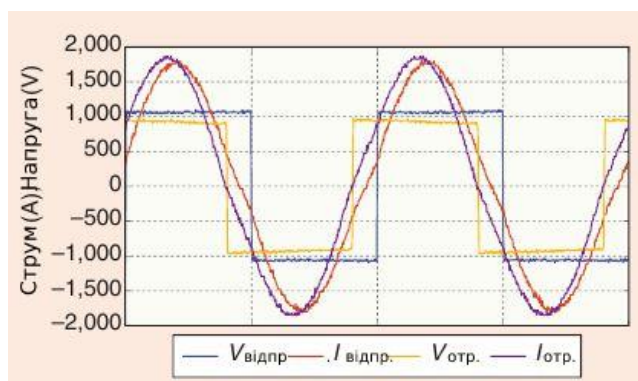


Рисунок 2.7.1 – Результати вимірювань із повномасштабних лабораторних випробувань

Графіки сигналів напруги та струму, отриманих на ранній стадії лабораторних випробувань, показаний на рисунку 2.7.2. У цьому випадку

система працює з розімкненим контуром регулювання частоти, а не із замкнутою системою управління, призначеною для регулярної роботи. На малюнку показано, що система працює від шини 1000В постійного струму, а передавальний h-мостовий перетворювач генерує напругу прямокутної форми. Оскільки система управління не працює, фактична частота в цьому стані трохи вище резонансної частоти, що призводить до незначної ємнісної роботи передавального перетворювача. Випрямляч на приймальній стороні складається тільки з діодів, і підключений до постійної напруги трохи нижче 1000 В. З кривих, показаних на малюнку, можна переконатися, що передана потужність знаходиться в діапазоні 1,1 МВт. Для регулярної роботи система буде працювати з певною стратегією управління, яка буде виконувати регулювання потоку потужності і забезпечувати злегка індуктивний струм з ефективним перемиканням нульової напруги для IGBTs в передавальному h-мостовому перетворювачі. Це буде працювати для будь-яких умов роботи при повному навантаженні, хоча частота буде залежати від умов зчеплення.

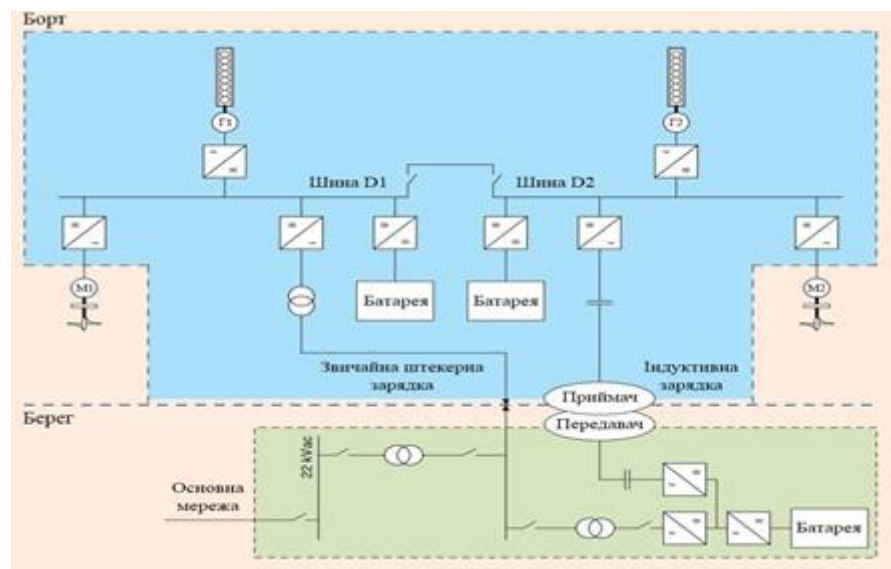


Рисунок 2.7.2 – Конфігурація системи гібридної бортової системи і берегової установки з локальним накопичувачем енергії

Для роботи зі зниженим навантаженням і низькими коефіцієнтами зв'язку буде активований контур управління струмом для регулювання

ефективної напруги передавального перетворювача шляхом фазового зсуву комутаційних впливів в двох гілках для підтримки струму і передачі потужності на бажаному рівні. Згідно з проектом і досвідом лабораторних випробувань, ККД повномасштабної системної установки, як очікується, буде знаходитися в діапазоні 97% при номінальній потужності.

2.8. Інтеграція енергосистеми індуктивної передачі потужності

Індуктивна зарядна система може бути підключена до будь-якої конфігурації бортової і берегової енергосистеми. Конфігурація системи для випадку підключення до гібридної бортової системи з розподілом постійного струму і берегової установки з локальним накопичувачем енергії показана на рисунку 2.10. На першому етапі в конфігурацію системи також включений звичайний варіант зарядки на основі кабелів.

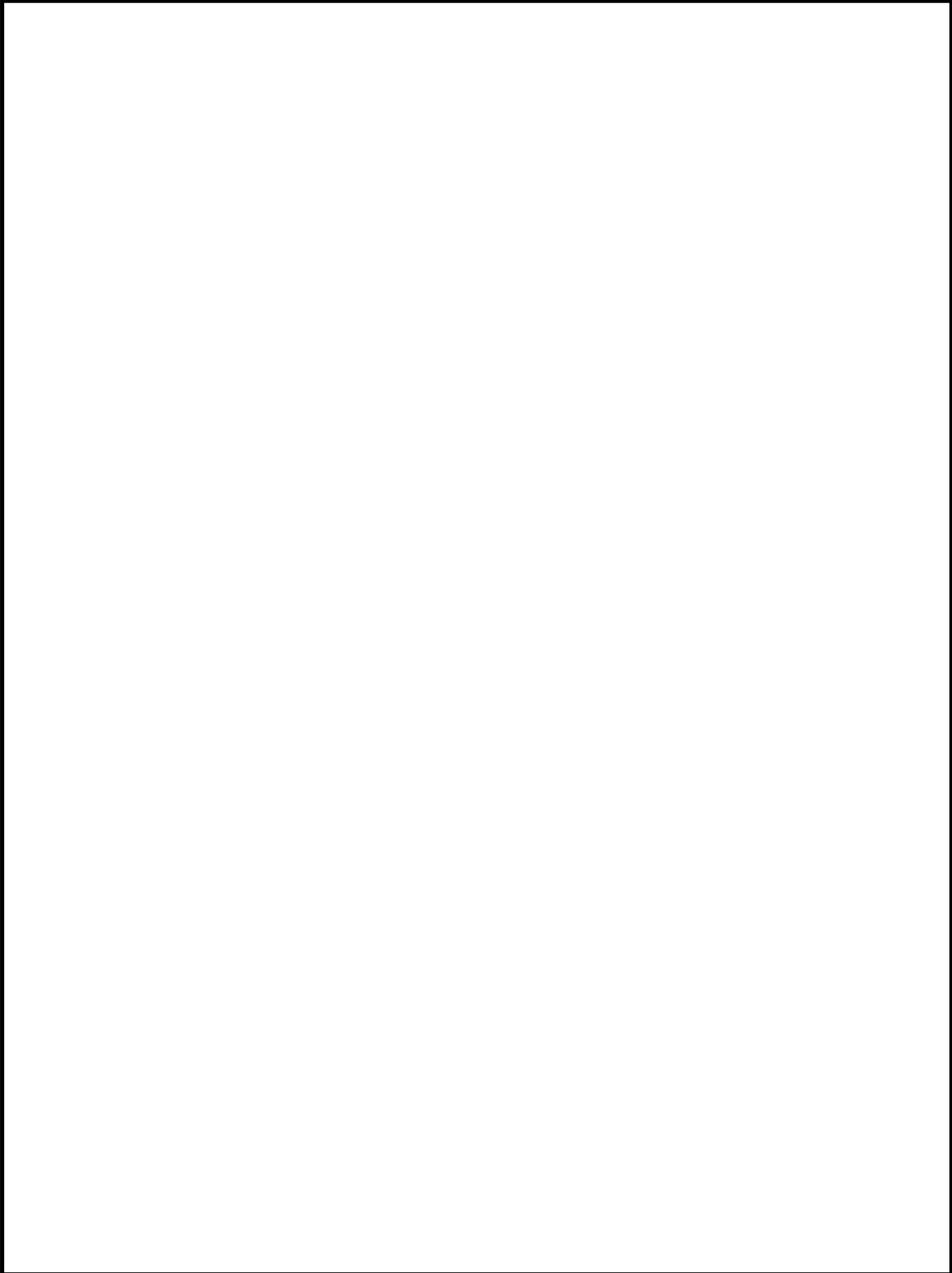
Оскільки звичайна штекерна зарядка буде заснована на застосуванні змінного струму, вона зазвичай буде необхідна зі спеціальним бортовим трансформатором, який має значну вагу, для забезпечення гальванічної розв'язки, як показано в лівій частині рисунку 2.10 при бездротовій зарядці гальванічна розв'язка за своєю суттю забезпечується індуктивним зв'язком. З огляду на випадок, коли велика частина зарядної потужності повинна надходити з берегової системи накопичення енергії, індуктивна зарядна система не потребуватиме жодних додаткових ступенів перетворення в порівнянні зі звичайною штекерної зарядкою. Дійсно, передача потужності від постійного струму системи зберігання акумуляторних батарей до з'єднання змінного струму, а потім до бортової шини постійного струму вимагає двох етапів перетворення таким же чином, як і індуктивна зарядка. Якщо резонансні котушки і конденсатори системи індуктивної зарядки можуть бути сконструйовані з високою ефективністю, це означає, що при використанні системи індуктивної зарядки в такій конфігурації не буде суттєвої різниці у втратах потужності.

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При наявності потужної берегової мережі змінного струму можлива пряма зарядка без будь-яких накопичувачів енергії. У такій ситуації індуктивна зарядка буде мати два додаткових етапи перетворення (тобто змінний струм в постійний і постійний струм в

високочастотний змінний струм для індуктивної передачі потужності). Однак очікується, що більш ефективне використання часу, доступного для зарядки, і потенційно підвищена надійність системи в жорстких умовах експлуатації компенсують вартість і кілька збільшені втрати, що виникають в результаті використання індуктивної системи заряду.

					171.6321M.KP.ПЗ.P2	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Бондаренко Д.С.			ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАРЯДНИХ СИСТЕМ БЕРЕГ – СУДНО (ЗСБС)	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							59	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Жук О. К.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАРЯДНИХ СИСТЕМ БЕРЕГ-СУДНО (ЗСБС)

3.1. Моделі втрат потужності в компонентах ЗСБС на шляху заряджання бортової батареї

Метою розділу є порівняльна оцінка ефективності передачі енергії для трьох основних структурних рішень ЗСБС (АС, DC та індуктивної) при двох різних архітектурах бортової енергетики : головні шини постійного струму (DC Main-Bus) та головні шини змінного струму (AC Main-Bus). Дослідження повинно виконуватись з урахуванням такого визначального фактору як відношення потужності, одержаної безпосередньо від берегової мережі до , до потужності, одержаної від берегової накопичувальної батареї . Як основний показник енергетичної ефективності розглядаємо коефіцієнт корисної дії (ККД) ЗСБС ,тобто відношення енергії, спожитої бортовим акумулятором до сумарної енергії, що надходить від берегової мережі безпосередньо та через береговий акумуляторний накопичувач.

Основі компоненти втрат потужності: напівпровідникові перетворювачі (дворівневий інверторний перетворювач напруги - DC/AC; двонаправлений перетворювач постійної напруги - DC/DC; випрямляч - AC/DC); система індуктивної передачі енергії – IPT; акумулятор; силовий трансформатор.

3.2. Трифазний дворівневий PWM-інвертор з LCL фільтром

Трифазний дворівневий PWM-інвертор з LCL фільтром показано на рис.3.2.1.

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

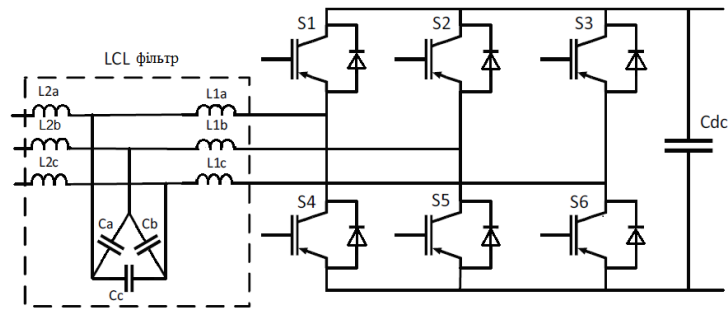


Рисунок. – 3.2.1. Дворівневий PWM-інверторний перетворювач
напруги з LCL фільтром

Втрати потужності у IGBT на дві частини: статичні – втрати провідності та динамічні - перемикання або комутаційні.

Вихідна характеристика IGBT апроксимується у вигляді [3]:

$$U_{CE}(t) = U_{CE0} + r_{CE} i_C(t) \quad (3.1)$$

Отже, втрати потужності провідності у IGBT дворівневого інвертора можна розрахувати наступним чином:

$$P_{втр.провід.Т} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{CE}(t) i_C(t) dt \quad (3.2)$$

У припущенні синусоїдальної форми струмів та ідеального робочого циклу втрати провідності в IGBT будуть розраховані за таким виразом [4]:

$$P_{втр.провід.Т} = (1/2\pi + m \cos(\theta)/8) U_{CE0} I_c + (1/8 + m \cos(\theta)/3\pi) r_{CE} I_c^2 \quad (3.3)$$

де m , I_c , ω та θ - відповідно коефіцієнт модуляції, пікове значення вихідного струму, частота вихідного сигналу і фазовий зсув між вихідним струмом і основною гармонікою вихідної змінної напруги.

Потужність, розсіювана у відкритому стані діода, розраховується за виразом [4]:

$$P_{втр.провід.D} = (1/2\pi - m \cos(\theta)/8) U_{FW0} I_D + (1/8 - m \cos(\theta)/3\pi) r_F I_D^2 \quad (3.4)$$

Для розрахунку потужності втрат, що виникають у ланці DC постійного струму та фільтрах LCL, використовуються наступні вирази:

$$P_{Cdc} = r_{Cdc} (2\pi f_{sw} C_{DC} \Delta U_{DC}) \quad (3.5)$$

$$P_{LCL втр.провід.} = 3(r_{L1} + r_{L2}) I_{вix}^2 \quad (3.6)$$

r_{Cdc}, r_{L1} - еквівалентний послідовний опір (ESR) конденсатора проміжного контуру і котушок індуктивності у фільтрі LCL і відповідно, ΔU_{DC} - пульсація напруги на стороні постійного струму проміжної ланки. Включення та вимкнення лінійно і нелінійно залежать від струму колектора $I_{вих}$ та напруги блокування U_{cc} відповідно. У зв'язку з цим наближений вираз для втрат перемикання IGBT має вигляд [3]:

$$P_{sw\text{emp.T}} = \sqrt{2 f_{sw} (E_{вмк} + E_{вумк})} / \pi \cdot I_{вих} / I_{ном} (U_{cc} / U_{ном})^{1.3} \quad (3.7)$$

$E_{вмк}$ та $E_{вумк}$ втрати енергії при увімкненні та вимкненні, що визначаються з технічної специфікації за відносними значеннями напруги та струму, що визначаються за довідковими даними у частках від відповідних номінальних значень $U_{ном}$ та $I_{ном}$. Для діодів враховуються лише втрати потужності при вимкненні, обумовлені зворотним струмом відновлення [3].

3.3. Двонаправлений DC/DC перетворювач

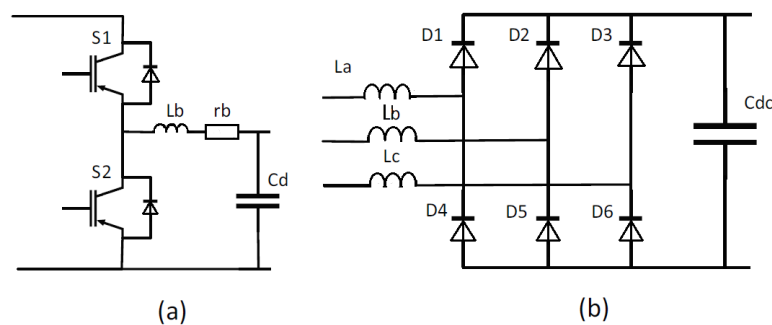


Рисунок 3.3.1. – (а) двонаправлений понижувально-підвищуючий перетворювач і (б) трифазний діодний випрямляч

Як перетворювач постійної напруги DC/DC для батарейної системи зберігання енергії розглядається знижувально-підвищуючий перетворювач, показаний на рис. 3.3.1(а). Він діє як знижувальний, коли акумулятор заряджається, і як підвищуючий при розряді акумулятора. Складовими енергетичних втрат є 1) втрати провідності та 2) втрати

перемикання. Усереднені втрати провідності розраховуються за лінійною апроксимацією вихідних характеристик IGBT і діода, як показано в [5].

$$P_{\text{втр.провід.Т}} = DU_{\text{CE0}} I_{\text{Lb}} + Dr_{\text{CE}} I_{\text{Lb}}^2 \quad (3.8)$$

$$P_{\text{втр.провід.Д}} = (1-D)U_{\text{FW0}} I_{\text{Lb}} + (1-D)r_{\text{F}} I_{\text{Lb}}^2 \quad (3.9)$$

$$P_{\text{втр.провід.Лb}} = r_{\text{Lb}} I_{\text{Lb}}^2 \quad (3.10)$$

де r_{Lb} та I_{Lb} - виміряні значення опору і струму підвищувального дроселя, D - шпаруватість перетворювача, яка дорівнює відношенню напруги батареї до напруги шини постійного струму. Комутаційні втрати транзистора і діода розраховуються наступним чином [3].

$$P_{\text{sw.втр.Т}} = f_{\text{sw}} (E_{\text{вкл}} + E_{\text{вимк}}) \cdot I_{\text{вих}} / I_{\text{ном}} (U_{\text{cc}} / U_{\text{ном}})^{1,3} \quad (3.11)$$

$$P_{\text{sw.втр.Д}} = f_{\text{sw}} E_{\text{rr}} (I / I_{\text{ном}})^{0,6} (U_{\text{cc}} / U_{\text{ном}})^{0,6} \quad (3.12)$$

3.4. Трифазний діодний випрямляч

Для перетворення змінного струму на постійний у випадках, коли немає необхідності регулювання вихідної напруги U_{FW0} та опір r_{F} , використовується діодний випрямляч, зображений на 3.3.1 (b). Діоди моделюються як джерело постійної напруги та опір. Усереднена потужність втрат провідності для діодного випрямляча розраховуються згідно з (13), в якій I_{dc} величина вихідного постійного струму випрямляча [5].

$$P_{\text{втр.провід.Д}} = 2U_{\text{FW0}} I_{\text{dc}} + \pi/3 r_{\text{F}} I_{\text{dc}}^2 \quad (3.13)$$

Оскільки частота мережі становить 50 або 60 Гц втрати потужності при перемиканні діодів є незначними і ними можна знехтувати.

3.5. Система індуктивної передачі енергії IPT

Як показано на рис. 3.3, система індуктивної передачі енергії складається з інвертора, пари резонансних контурів (передавального і приймального) з виділеними послідовними котушками L_t та L_r і

компенсаційними конденсаторами C1 та C2, а також випрямляча на приймальній стороні.

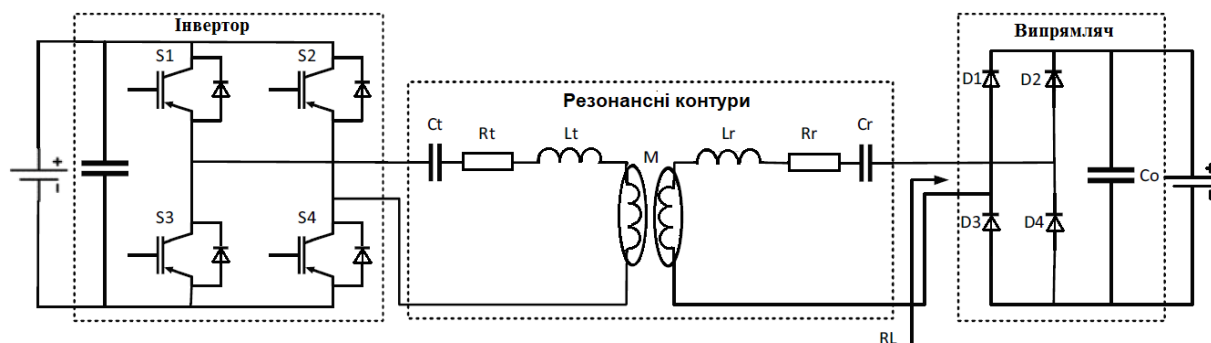


Рисунок 3.5.1. – Система індуктивної передачі енергії IPT, що використовується для бездротової зарядки

Для розрахунку загальної ефективності системи кожна її частина має бути проаналізована окремо. Ефективність (ККД) контурів індуктивної передачі потужності η на резонансній частоті ($\omega_0 = 1/\sqrt{L_t C_t} = 1/\sqrt{L_r C_r}$) обчислюється за виразом, який залежить від взаємної індуктивності

M , опору навантаження RL та інших параметрів (R_t і R_r - еквівалентні опори котушок і послідовних конденсаторів в передавальному і приймальному контурах) [7].

$$\eta = \frac{R_L (\omega_0 M)^2}{((R_s + R_t)(R_L + R_r) + (\omega_0 M)^2)(R_L + R_r)} \quad (3.14)$$

Оскільки в резонансній системі IPT виконується умова увімкнення IGBT при нульовій напрузі (ZVS), втрати потужності в транзисторах і діодах інвертора складається з втрат провідності та втрат лише при вимиканні [8]. Перший член розраховується шляхом врахування основної гармоніки вихідного струму у виразах (3.3) та (3.4) для повномостової конфігурації. Втрати потужності перемикання розраховуються згідно з (7), але з заміною $(E_{\text{вмк}} + E_{\text{вимк}})$ на $E_{\text{вимк}}$. У випрямлячі враховуються лише втрати потужності провідності згідно з (3.13).

3.6. Акумулятор

Втрати енергії в накопичувальній батареї складають різницю між енергією, необхідною для заряджання батареї, і енергією, що вивільняється при її розряді. Ці втрати необхідно враховувати для оцінки загальної ефективності ЗСБС. Вони залежать. Ця ефективність залежить від ступеня заряду (state of charge- SoC), зарядного струму і режиму роботи, будь то процес заряджання або розрядки. Для оцінки втрат потужності застосовується спрощена еквівалентна схема [9], показана на рис. 3.6.1, у якій моделюються втрати потужності при заряджанні та розрядці акумуляторної батареї.

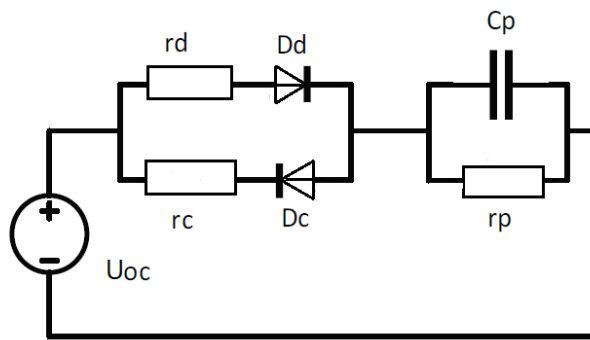


Рисунок 3.6.1. – Модель літій-іонного акумулятора

Для розрахунку втрат у батареї використовується наступний вираз, в якому $n_s, n_p, r_b, P_{\text{бат.}}$ та $U_{\text{бат.}}$ - відповідно кількість комірок, включених послідовно і паралельно, внутрішній опір комірки, потужність та напруга акумуляторної батареї [9]:

$$P_{\text{втр. бат.}} = n_s / n_p \cdot r_b (P_{\text{бат.}} / U_{\text{бат.}})^2 \quad (3.15)$$

3.7. Силовий трансформатор

Розподільний трансформатор 50 або 60 Гц з'єднує мережу із зарядною станцією. Силовий трансформатор створює дві складові втрати потужності: 1) практично незмінні втрати холостого ходу (у сталі), які

залежать від напруги мережі та 2) втрати в міді, які залежать від величини навантаження. Таким чином, загальні втрати в трансформаторі можна розрахувати за таким виразом

$$P_{TR.emp.} = P_{хол.х} + P_{cu} (P_{нав.}/P_{ном.})^2 \quad (3.16)$$

3.8. Приклад аналітичного дослідження енергоефективності

Розглядається розрахунок показника енергоефективності ЗСБС (ККД) для акумуляторного порома, призначеного для коротких дистанцій. На енергоефективність впливає розклад цього порома, який впливає на тривалість режимів заряджання бортових акумуляторів, що здійснюються протягом світлового дня. Другий фактор впливу - програма заряджання берегових акумуляторних батарей. Для розрахунку енергоефективності системи зарядки необхідно визначити план зарядки і потужність перетворювачів, що впливає на вибір напівпровідникових ключів. У зв'язку з цим, припустимо, що розклад порома складається з двох переходів між протилежними причалами по 30 хв. та двох зупинок по 15 хв. Це означає, що бортова батарея заряджається протягом 15 хв., а берегова батарея – протягом 75 хв. Загальні характеристики та розрахункові параметри ЗСБС, а також характеристики режимів заряджання акумуляторних батарей наведено в таблиці 3.8.1.

Таблиця 3.8.1 – Загальні схемні та режимні параметри зсбс

Параметри	Символ	Значення
Ємність та номінальна напруга берегової батареї	C_{OSB}, U_{OSB}	400 кВт·год, 650 В
Внутрішній опір літій-іонної батареї при заряджанні та розрядці [9]	r_c, r_d	15 мΩ, 10 мΩ
Потужність розрядки берегової батареї	P_B	100~500 кВт
Потужність зарядки берегової батареї	P_{c-OSB}	100~500 кВт
Потужність мережі (11 кВ, 50 Гц)	P_G	100~500 кВт
Час зарядки бортової батареї	t_{c-ONB}	15 хв
Час зарядки берегової батареї	t_{c-OSB}	75 хв
Енергія зарядки бортової батареї	E_{c-ONB}	100~500 кВт·год

Трансформатор мережевого інтерфейсу, номінальні потужність та напруги		1 МВА, 11кВ:0,69кВ
Трансформатор мережевого інтерфейсу, номінальні втрати потужності в режимі холостого ходу та короткого замикання [9]	P_{nl}, P_{Cu}	2 кВт, 10 кВт
Напруга основної бортової шини постійного струму	U_{DC}	980 В
Напруга основної бортової шини змінного струму	U_{AC}	690 В
Параметри IGBT (FF1000R17IE4P)	U_{CES}, I_{Cnom}	1,7 кВ, 1 кА
Параметри діодів (SKKD 701)	U_{RSM}, I_{FAV}	1,7 кВ, 701 А

Таблиця 3.8.2 – Конструкційні параметри системи індуктивної зарядки

Параметри	Символ	Значення
Власні індуктивності катушок	L_t, L_r	400 μH
Взаємна індуктивність	M_{min}, M_{max}	80 μH , 200 μH
Активні опори катушок	R_t, R_r	40 $m\Omega$
Резонансна частота	f_r	3 кГц

3.9. Результати і висновки

Методологія розрахунку енергоефективності, що використовується в цій роботі, заснована на використанні викладених вище моделей втрат потужності для визначення складових загальної енергії, які подаються на бортову батарею і споживаються безпосередньо від мережі та опосередковано через берегову батарею. Для оцінки потоку потужності

протягом одного 90-хвилинного циклу зарядки втрати розраховані при роботі різних схемних рішень ЗСБС. Передбачається, що напруга бортової батареї залишається незмінною при її номінальному значенні внаслідок невеликих змін SoC (ступеня заряду) акумулятора в процесі зарядки. Оскільки втрати потужності в силових компонентах залежать від робочої точки, енергоефективність змінюватиметься залежно від необхідної потужності заряджання та схеми заряджання. Одним з факторів, що впливають на енергоефективність, є співвідношення потужності , що

споживається при зарядці безпосередньо від мережі та потужності , що споживається через берегову систему накопичення енергії – БСНЕ (onshore Battery Energy Storage System– BESS) . На рис. 3.9.1 наведено розраховані графіки залежностей показника енергоефективності (ККД) від співвідношення P_G/P_B для різних структур ЗСБС (АС, DC, IPT) і схем бортової енергетики (DC Main-Bus, АС Main-Bus).

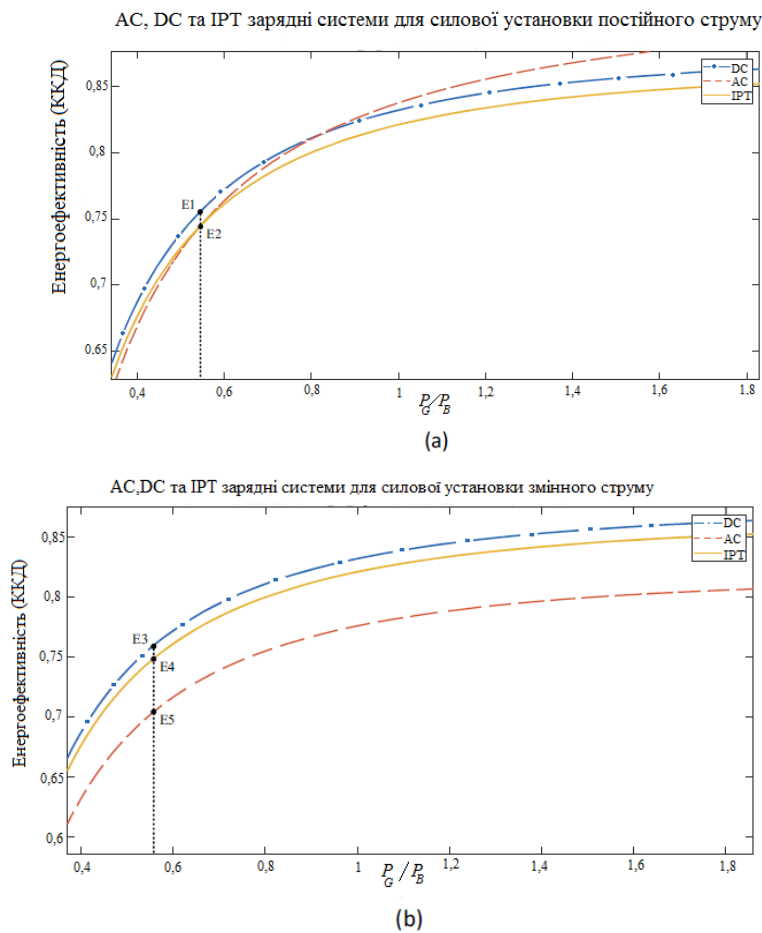


Рисунок 3.9.1 – Криві залежностей загальної енергоефективності (ККД) ЗСБС (а)- для бортової установки постійного струму; (б) - для бортової установки змінного струму

- Аналіз одержаних залежностей дозволяє зробити наступні висновки:
1. Чим вище відношення потужності мережі до потужності берегової батареї, які споживаються у процесі заряджання бортової батареї, тим вище загальний ККД системи. Це відбувається через додаткові втрати

енергії, що виникають у процесі зарядки та розрядки берегових акумуляторів у складі БСНЕ. Однак, при збільшенні частки енергії берегових акумуляторів навантаження на мережу і плата за електроенергію, спожиту для підтримки бортового зарядного навантаження зменшується. Таким чином, таке відношення слід оптимізувати з точки зору енергоефективності з урахуванням можливостей місцевої мережі та наявності власних відновлювальних джерел електроенергії.

2. З графіків на рис. 3.9.1, (а), (в) випливає що за прийнятих у прикладі параметрах система індуктивної зарядки завжди ефективніша, ніж дротова система змінного струму для бортової установки з головною шиною постійного струму, а при $P_G/P_B < 0,54$ вона також ефективніша, ніж дротова система змінного струму і для бортової установки з головною шиною змінного струму. Хоча енергоефективність дротової системи постійного струму завжди дещо вища, ніж у індуктивної системи, остання має деякі безпрецедентні переваги, а саме усуває необхідність використання ненадійних контактних стикувальних вузлів та надає можливість повного використання короткого часу стикування для заряджання незалежно від складних погодних умов та впливу обмерзання та засоленості.
3. Для порома з основною шиною постійного струму найбільш ефективним рішенням за прийнятих параметрах є заряджання від системи постійного струму при $P_G/P_B < 0,83$. В іншому випадку ($P_G/P_B < 0,83$) найбільш ефективним є заряджання від системи змінного струму. Варто зазначити, що за наявності берегового накопичувача енергії заряджання постійним струмом є найбільш ефективним вибором, оскільки у цьому випадку відношення потужностей, споживаних від мережі і від батареї не перевищує 1. Наприклад, з розгляду точок E1 та E2 на рис. 3.9.1(а), випливає, що при заміні

системи заряджання змінного струму зарядним пристроєм постійного струму енергоефективність підвищується на 1,2%. Якщо пором здійснює 10 рейсів на день і споживає 150 кВт енергії з мережі в двох портах, економія енергії протягом місяця приблизно дорівнює енергії, необхідної для роботи протягом цілого робочого дня.

4. Для порома з основною шиною змінного струму найбільш ефективним рішенням є берегова зарядна станція з постійного струму. Це пов'язано з тим, що при заряджанні від станції змінного струму енергія берегової батареї спочатку перетворюється на енергію змінного струму у береговій шині і потім знову перетворюється у енергію постійного струму на судні для зарядки бортової батареї. Навпаки, у системі зарядки постійного струму шлях розрядки акумуляторної батареї берегового накопичувача до бортової батареї не містить будь-яких ступенів перетворення постійного струму змінний. Наприклад, з розгляду точок E3 та E5 на рис.3.9.1(b) випливає, що при заміні системи заряджання змінного струму на систему заряджання постійного струму енергоефективність зростає на 4%.
5. Із врахуванням практичних переваг системи індуктивної зарядки слід вважати перспективним рішенням, незважаючи на їхню дещо меншу енергоефективність.

3.10. Електромагнітна сумісність системи бездротової зарядки акумуляторного судна з береговою мережею

В даному розділі розглянуто умови інтеграції потужної системи швидкої бездротової зарядки акумуляторного судна і портової мережі, виходячи з вимог до електромагнітної сумісності, які визначаються стандартними показниками припустимих гармонічних спотворень напруги і струму мережі. Виконано модельне дослідження зазначених показників для різних схем приєднання системи бездротової зарядки до берегової мережі як

					171.6321M.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

за наявності, так і за відсутності гібридних керованих фільтрокомпенсуючих пристроїв. Проведено аналіз принципів ефективної мінімізації гармонічних спотворень напруги і струму мережі при одночасній корекції коефіцієнта їх фазового зсуву з урахуванням сумірності потужностей системи бездротової зарядки та портової електричної мережі. Рекомендовано, як найбільш енергоефективний варіант, використання в системі бездротової зарядки 6-ти пульсного вхідного некерованого випрямляча у поєднанні з системним керованим фільтрокомпенсуючим пристроєм, налаштованим на компенсацію 5-ї та 7-ї гармонік, замість 12-пульсного випрямляча з триобмотковим трансформатором.

Використання чисто електричних рухових установок з удосконаленими літій-іонними акумуляторними батареями (АКБ) високої ємності на судах з короткими маршрутами (наприклад, на поромах або портових буксирах) може забезпечити значну економію палива та роботу з нульовим рівнем викидів за умови швидкої

підзарядки до достатнього рівня енергії на кожній стоянці протягом лише 4-5 хв. [1]. Індуктивні системи бездротової зарядки (СБЗ), які містять вхідний некерований випрямляч (НВ) та резонансний LLC – інвертор з частотною стабілізацією режиму, можуть незалежно від зміни умов індуктивного зв'язку забезпечити надійну і негайну передачу енергії на судно протягом всього часу стоянки [1].

Особливістю сучасних морських зарядних пристроїв є їх висока номінальна потужність (до декількох мегават) [2]. Отже, успішне впровадження технології індуктивної зарядки в морському секторі вимагає, насамперед, вирішення проблеми електромагнітної сумісності СБЗ з портовою береговою мережею сумірної потужності.

Метою даної роботи є забезпечення умов інтеграції потужних систем швидкої бездротової зарядки і портової інфраструктури шляхом пошуку та реалізації енергоефективних принципів забезпечення стандартних норм

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

якості електроенергії (ЯЕ) – припустимих показників гармонічних спотворень напруги і струму мережі.

Задачі, які необхідно вирішити для досягнення мети:

1. Аналіз можливих варіантів схем приєднання СБЗ до портової мережі.
2. Порівняльне модельне дослідження впливу індуктивних СБЗ з резонансними інверторними LLC – перетворювачами та вхідними НВ різної пульсності на показники гармонічних спотворень та фазового зсуву напруги і струму в комплексі портова мережа – СБЗ за відсутності додаткових засобів забезпечення ЕМС.
3. Модельне дослідження ефективності впливу гібридного керованого фільтрокомпенсуючого пристрою (КФКП), що має удосконалену двоканальну структуру, на показники спотворень та фазовий зсув напруги і струму в портовій мережі з СБЗ.
4. Розробка практичних рекомендацій щодо забезпечення ЯЕ в портовій мережі, що живить індуктивну СБЗ сумірної потужності.

Наукова новизна даного дослідження полягає в модельній перевірці принципової можливості використання нової структури КФКП з двома нерегульованими резонансними фільтрами (РФ), налаштованими на 5-у і 7-у гармоніки, та регульованим реакторним компенсатором (РК) для ефективної корекції коефіцієнта зсуву з одночасним обмеженням рівня вищих гармонік в берегових мережах з потужними індуктивними СБЗ.

Міжнародні стандарти ЯЕ ІЕС 6100-4-30 та ІЕС 60092-101 визначають жорсткі припустимі рівні гармонік напруги і струму в судових і берегових мережах. Наприклад, інтегральний коефіцієнт гармонічних спотворень напруги не повинен перевищувати 5%, а будь-яка гармоніка (до 50-ї включно) не повинна перевищувати 3%. Виконання зазначених вимог передбачає необхідність попередньої оцінки показників ЯЕ, а також розробки ефективних засобів їх забезпечення з урахуванням особливостей мереж.

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Визначальний вплив на характер і ступінь спотворень напруги і струму мережі живлення з СБЗ справляють вхідні діодні 6-пульсні або 12-пульсні НВ, відповідно з дво- та триобмотковими трансформаторами, які мають найбільше практичне використання в СБЗ з вхідною ланкою постійного струму (рис.3.10.1).

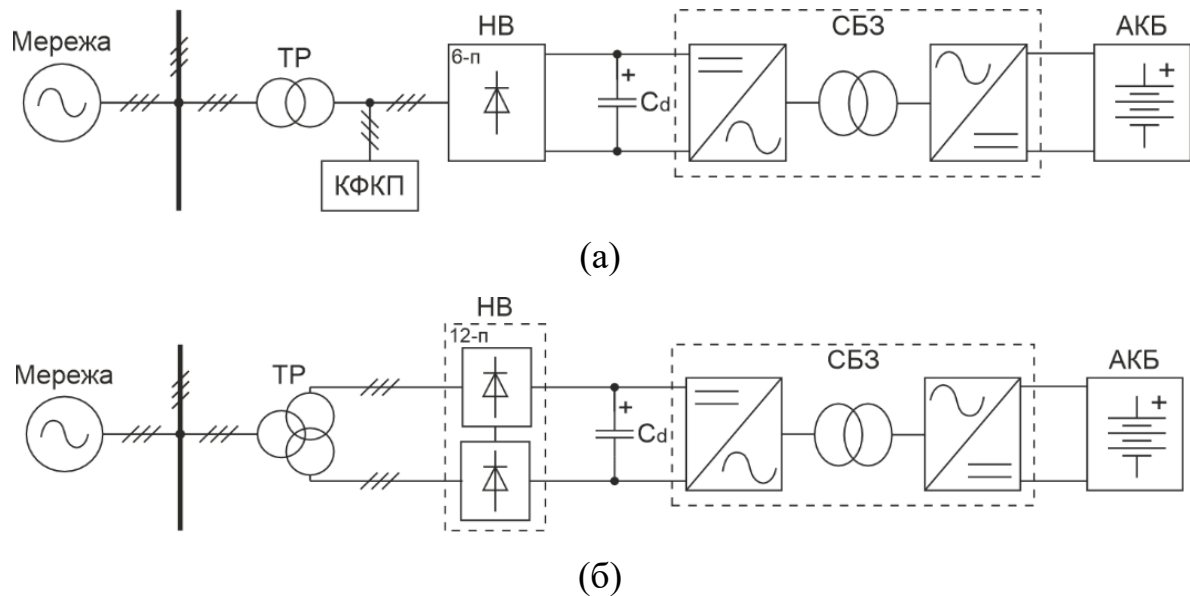


Рисунок 3.10.1 – Схеми приєднання СБЗ до берегової мережі а) з 6-пульсним вхідним НВ; б) з 12-пульсним вхідним НВ

3.11. MATLAB - моделі комплексів берегова мережа – БЗС

MATLAB- моделі комплексів берегова мережа – індуктивна СБЗ з 6-пульсним та 12-пульсним вхідними НВ показані на рис. 3.11.1 і рис. 3.11.2.

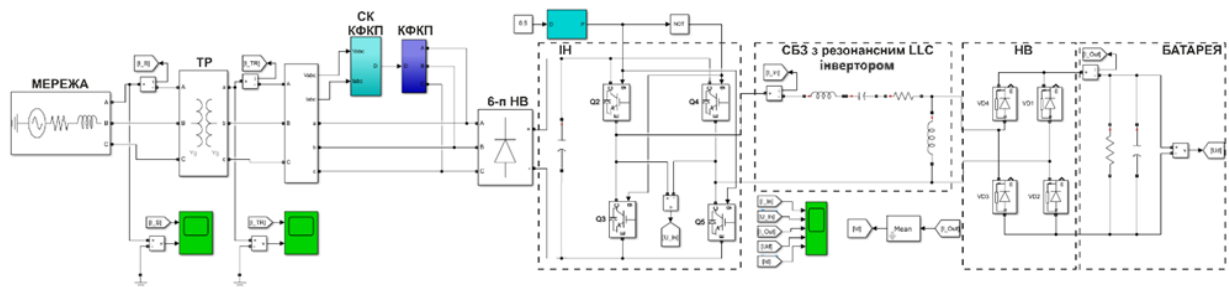


Рисунок 3.11.1 – MATLAB- модель комплексу з 6-пульсним вхідним НВ СБЗ

Структурна схема системи керування (СК) РК з широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) представлена на рис. 3.11.4.



Рисунок 3.11.4 – Структурна схема ШІР РК

До складу пристрою ШІР входять стандартний цифровий блок обчислення миттєвого значення реактивної потужності (РП) Q , споживаної з мережі СБЗ разом з КФКП, та фільтр нижніх частот для виділення постійної складової у сигналі Q

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}}(i_{SA}u_{SBC} + i_{SB}u_{SAC} + i_{SC}u_{SAB})$$

Схема ШІР визначає шпаруватість керування РК таким чином, що значення реактивної потужності мережі Q прямує до нуля, а коефіцієнта зсуву – до одиниці при будь-якому режимі СБЗ.

3.12. Результати порівняльних досліджень показників якості електроенергії в мережі з БЗС

Результати дослідження ЯЕ представлені на рис. 3.12.1-3.12.3 для різних варіантів комплексу портова мережа – СБЗ з наступними головними номінальними параметрами: повні потужності джерела мережі та вхідних трансформаторів СБЗ – відповідно 650 кВА і 375 кВА; лінійні напруги: мережі – 10 кВ; на виходах двообмоткових та триобмоткових вхідних трансформаторів СБЗ – відповідно 600 В і 300 В. Вихідна частота LLC – інвертора – 50 кГц. Зарядна напруга і постійна складова зарядного струму АКБ – відповідно 800 В і 350 А.

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

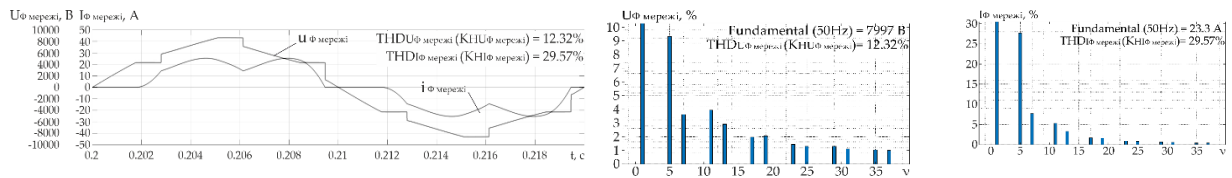


Рисунок 3.12.1 – Часові діаграми та спектри напруги і струму мережі при роботі СБЗ з 6-пульсним НВ без КФКП

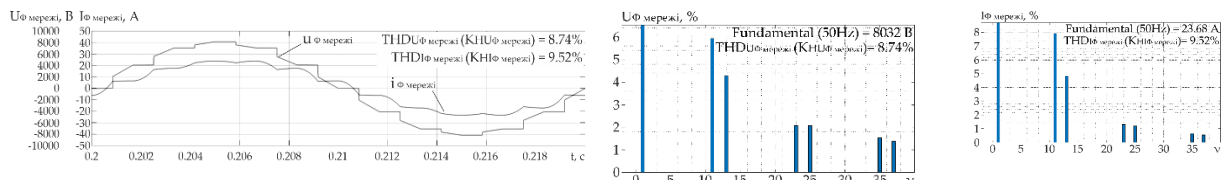


Рисунок 3.12.2 – Часові діаграми та спектри напруги і струму мережі при роботі СБЗ з 12-пульсним НВ без КФКП

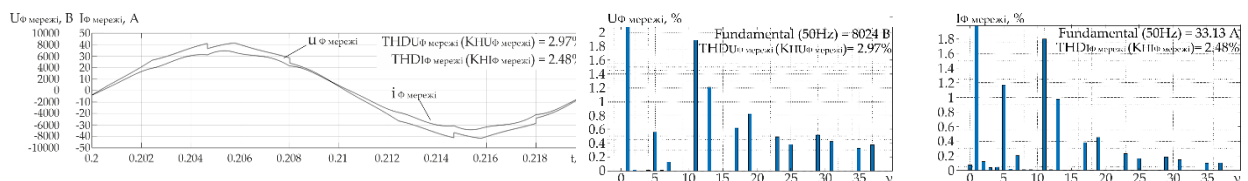


Рисунок 3.12.3 – Часові діаграми та спектри напруги і струму мережі при роботі СБЗ з дволанковим системним КФКП

Осцилограми напруг і струмів окремих внутрішніх елементів dc/dc перетворювача досліджуваної індуктивної СБЗ наведені на рис.4.9; вони практично співпадають для всіх варіантів розглянутих моделей, показаних на рис. 3.12.4.

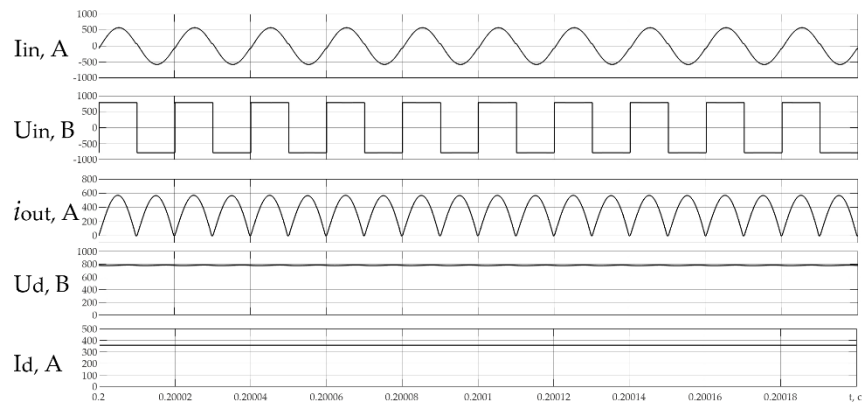
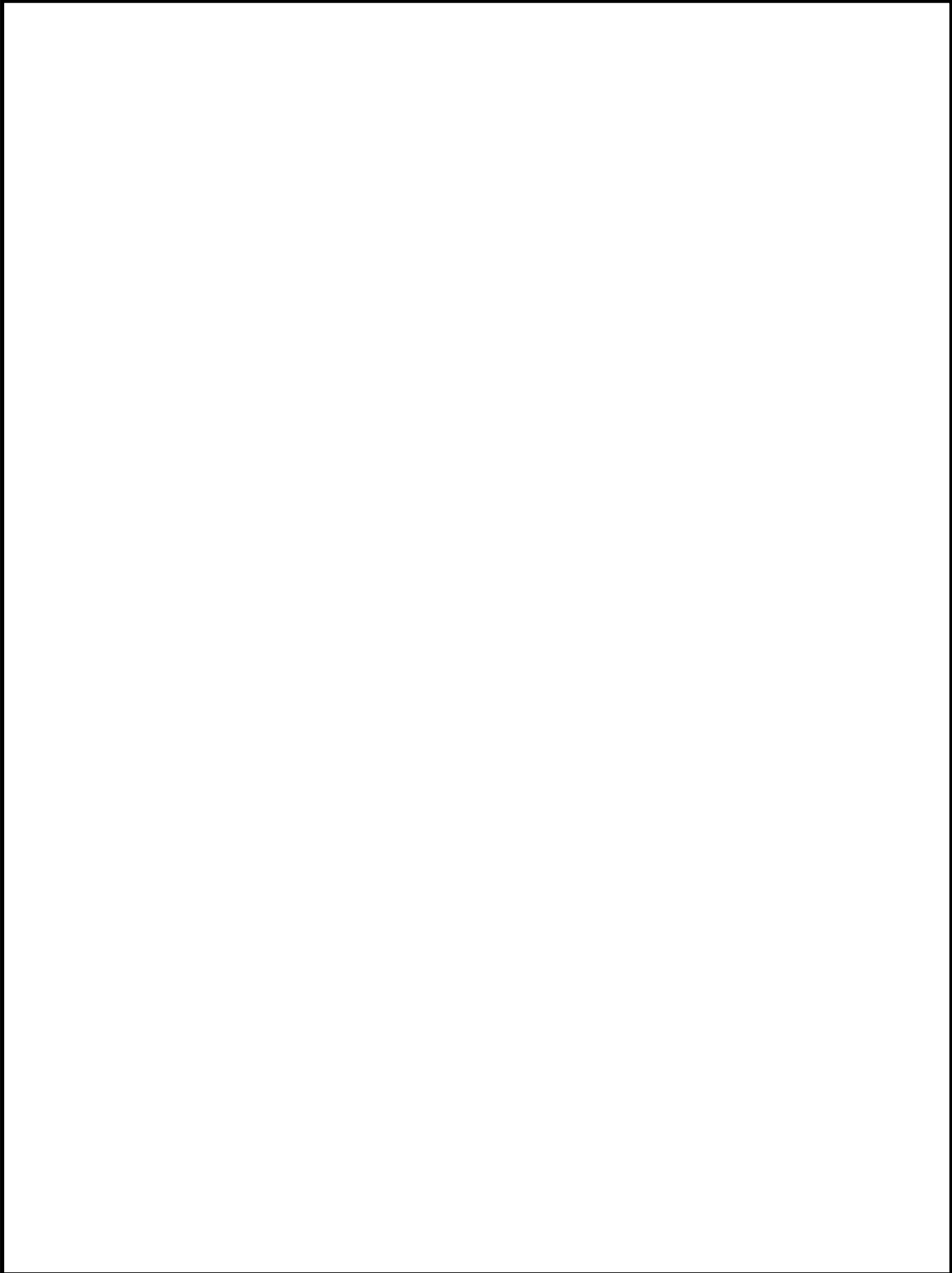


Рисунок 3.12.4 – Результати моделювання струмів і напруг СБЗ з LLC інвертором

Висновки. Використання для варіанта СБЗ з економічним 6-пульсним вхідним НВ системного КФКП на основі удосконаленої дволанкової гібридної структури дозволяє забезпечити стандартні вимоги до ЯЕ, знижуючи та від 12,32% і 29,57% до 2,97% і 2,48% відповідно, одночасно повністю компенсуючи реактивну потужність. Порівняно з варіантом СБЗ, що містить 12-пульсний НВ при відсутності КФКП, таке рішення забезпечує більшу ефективність при меншій вартості.

					171.6321М.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



					171.6321М.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Бондаренко Д.С.			Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркушіїв
Консультант		Губальцев А. М.					78	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Жук О. К.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Основні положення щодо охорони праці в Україні

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я й працездатності людини в процесі трудової діяльності (Закон України "Про охорону праці").

Головною метою охорони праці є створення на кожному робочому місці безпечних умов праці, безпечної експлуатації обладнання, зменшення або повна нейтралізація дії шкідливих і небезпечних виробничих факторів на організм людини і, як наслідок, зниження виробничого травматизму та професійних захворювань.

Дія закону про охорону праці поширюється на всіх юридичних та фізичних осіб, які використовують найману працю, та на всіх працівників.

Законодавство про охорону праці складається з цього Закону, Кодексу законів про працю України (322-08), Закону України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" (1105-14) та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів.

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

- пріоритету життя і здоров'я працівників
- підвищення рівня промислової безпеки шляхом забезпечення суцільного технічного контролю за станом виробництв, технологій та продукції, а також сприяння підприємствам у створенні безпечних та нешкідливих умов праці;
- повної відповідальності роботодавця за створення належних, безпечних і здорових умов праці;

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі загальнодержавної, галузевих, регіональних програм та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони довкілля;
- соціального захисту працівників, по вного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань;
- адаптації трудових процесів до можливостей працівника з урахуванням його здоров'я та психологічного стану;
- встановлення єдиних вимог з охорони праці для всіх підприємств та суб'єктів підприємницької діяльності незалежно від форм власності та видів діяльності;
- інформування населення, проведення навчання, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;
- забезпечення координації діяльності органів державної влади, установ, організацій, об'єднань громадян, що розв'язують проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між роботодавцями та працівниками, між усіма соціальними групами під час прийняття рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;
- використання світового досвіду щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці.

Державне управління охороною праці в Україні здійснюють:

- Кабінет Міністрів України;
- центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері охорони праці;
- міністерства та інші центральні органи виконавчої влади.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що впливають на людину при роботі за персональним комп'ютером

На користувачів персональних комп'ютерів (ПК) впливають наступні фактори виробничого середовища:

- шум;
- мікроклімат;
- пожежна небезпечність;
- освітленість;
- статична електрика;
- електромагнітні поля і випромінювання;
- пил (вентиляція);
- робоче середовище.

4.3. Шум

Шум на виробництві завдає значної шкоди, діючи на організм людини і знижуючи продуктивність праці на 40 - 60%. Стомлення робітників через сильний шум сприяє появі помилок при роботі і як результат виникненню травм.

Відповідно до Держстандарту 12.1.001-83 нормованою шумовою характеристикою робочих місць при постійному шумі є рівень звукового тиску, у децибелах (дБ). Сукупність таких рівнів називається граничним спектром, номер якого чисельно дорівнює рівню звукового тиску з середньою частотою 1000 Гц.

З фізіологічної точки зору шум розглядають як звук, що негативно впливає на здоров'я людини. Основними фізичними величинами, що характеризують шум, з погляду впливу на людину, є:

- інтенсивність;
- звуковий тиск;
- частота.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В операторській встановлено комп'ютери, рівень шуму, спричинений комп'ютером, становить близько 10 дБ. Комп'ютер генерує аеродинамічний шум, своєю системою охолодження. Рівень шуму в приміщенні складе 10 дБ, що нижче допустимого мінімального рівня 50 дБ.

Приглухуватість - це повне або часткове зниження здатності сприймати звуки навколишнього середовища. Приглухуватістю страждає близько 2-3% населення. Число погано чуючи з кожним роком зростає як серед дорослих, так і серед дітей. Слух порушується, коли виникають перешкоди проходженню звукових хвиль, які можуть бути механічними, а можуть бути пов'язані зі станом слухового нерва. Втрата слуху може бути повною і частковою. Іноді патологія може успадковуватися. Слух може погіршуватись з віком, в як результат захворювання або в наслідок впливу гучних шумів.

4.4. Мікроклімат

У видихуваному людьми повітрі кількість CO₂ збільшується з 0,04 до 4,4 % якщо приміщення погано вентилявані. Навіть короточасне перебування в такому приміщенні знижує працездатність, погіршує самопочуття, може викликати головний біль, нудоту.

4.5. Пожежонебезпека

Найчастіше зустрічаються термічні ураження шкіри, рідше □ термічні і хімічні опіки ротової порожнини і дихальних шляхів.

Термічні опіки шкіри розділяють на 4 ступені:

I ступінь (легкий) - ураження зовнішнього шару шкіри, набряк шкіри і сильним пекучим болем в місці ураження;

II ступінь - ураження епідермісу і шкіри під ним, супроводжується утворенням міхурів, заповнених прозорою рідиною, яка потім каламутніє;

III А ступінь - частковий некроз шкіри;

III Б ступінь - некроз шкіри на всю її глибину;

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

IV ступінь - обвуглення, ураження шкіри і тканин, що знаходяться під нею.

Поверхневі опіки площею до 10% поверхні тіла і глибокі до 5% поверхні протікають легко. Опіки більшої площі викликають зміни у всьому організмі і розглядаються як опікова хвороба. При важких опіках - більше 10% тіла або поверхневих опіках більше 15% поверхні розвивається опіковий шок.

4.6. Освітлення

Одним з основних питань охорони праці є організація освітлення виробничих приміщень та робочих місць. Для освітлення приміщення, у якому працює оператор, використовується сполучення природного і штучного освітлення. Природне освітлення – здійснюється через вікна в зовнішніх стінах будинку.

Штучне освітлення – використовується при недостатньому природньому освітленні і здійснюється за допомогою систем загального і місцевого освітлення. Загальним називають освітлення, світильники якого висвітлюють все приміщення. Місцевим називають освітлення, призначене для окремого робочого місця. В приміщенні, де знаходиться робоче місце оператора, використовується система загального освітлення.

Нормами для даних робіт встановлена необхідна освітленість робочого місця $E_H = 300$ лк.

Освітлення розташовують, паралельно лінії зору оператора і стіні з вікнами, збоку від робочого місця.

4.7. Розрахунок штучного освітлення робочого місця оператора

Вхідні дані:

- довжина $A = 4$ м.
- ширина $B = 3$ м.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

- висота $H = 3,5\text{м.}$
- висота робочої поверхні $h_p = 1\text{м.}$

Для освітлення приймаємо світильник типу ШОД. Мінімальна освітленість люмінесцентними лампами $E_{\min} = 300\text{ лк.}$

Коефіцієнт відображення:

- стелі $\rho_p = 15\%$;
- стін $\rho_c = 50\%$;
- робочої поверхні $\rho_r = 15\%$.

Напруга мережі 220 В.

Загальна схема приміщення зображена на рис. 4.7.1, де:

- H – висота приміщення (відстань від полу до стелі);
- H_0 – відстань від стелі до робочої поверхні;
- H_n – висота світильника над підлогою;
- h_c – відстань від стелі до світильника;
- h – висота від світильника до робочої поверхні;
- h_p – робоча висота.

Відстань від стелі до робочої поверхні

$$H_0 = H - h_p, \text{ м} \quad (4.1)$$

де H – висота приміщення, м; h_p – висота робочої поверхні, м.

$$H_0 = 3,5 - 1 = 2,5 \text{ м}$$

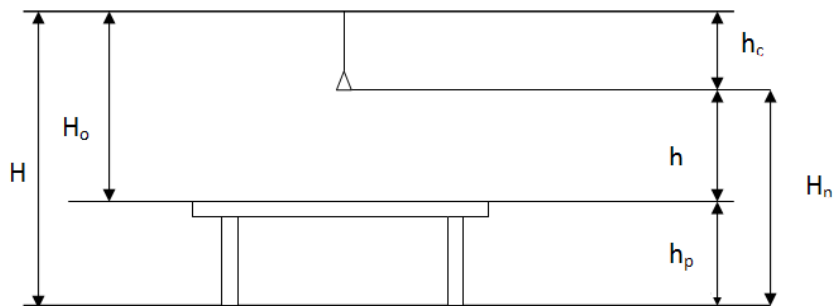


Рисунок 4.7.1 – Схема розміщення світильника у приміщенні

Відстань від стелі до світильника

$$h_c = 0,2 H_0, \text{ м} \quad (4.2)$$

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$h_c = 0,2 \cdot 2,5 = 0,5 \text{ м}$$

Висота підвішування світильника над освітлюваною поверхнею

$$h = H_0 - h_c, \text{ м} \quad (4.3)$$

$$h = 2,5 - 0,5 = 2 \text{ м}$$

Висота підвішування світильника над підлогою

$$H_{\text{п}} = h + h_{\text{р}}, \text{ м} \quad (4.4)$$

$$H_{\text{п}} = 2 + 1 = 3 \text{ м}$$

Для досягнення найбільшої рівномірності освітлення приймаємо відношення

$$L/h = 1,5 \quad (4.5)$$

Тоді відстань між центрами світильників

$$L = 1,5 h, \text{ м} \quad (4.6)$$

$$L = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ м.}$$

Необхідна кількість світильників

$$N = \frac{S}{L^2} \quad (4.7)$$

де S – площа приміщення, м^2 .

$$N = \frac{3 \cdot 4}{3^2} = 1,33 \approx 2$$

Індекс приміщення

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} \quad (4.8)$$

де A – довжина приміщення, м; B – ширина приміщення, м.

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{4 \cdot 3}{2(4+3)} = 0,857$$

Коефіцієнт використання світлового потоку

$$\eta = 0,39 \quad (4.9)$$

Світловий потік однієї лампи

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$\Phi = \frac{E_{\min} SK_3 Z}{N \eta \pi}, \text{ лм} \quad (4.10)$$

де $E_{\min}$ – мінімальна освітленість люмінесцентними лампами, лк; S – площа приміщення, м²; K_3 – коефіцієнт запасу ($K_3 = 1,3$); Z – коефіцієнт мінімальної освітленості, $Z = 1,1$ для люмінесцентних ламп; n – кількість ламп в світильнику.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 12 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,39 \cdot 2} = 3300_{\text{лм}}$$

За знайденим світловим потоком вибираємо лампу потужністю 40 Вт, що має світловий потік 3200, найбільш близький до розрахункового.

При цьому фактична освітленість

$$E_{\phi} = E_n \frac{\Phi_l}{\Phi_p}, \text{ лк} \quad (4.11)$$

де E_n – номінальна освітленість ($E_n = E_{\min}$), лк; Φ_l – світловий потік вибраної лампи, лм; Φ_p – розрахунковий світловий потік однієї лампи, лм.

$$E_{\phi} = 300 \frac{3200}{3300} = 290,9 \text{ лк}$$

Норми відхилення складають -10...+20%. Фактичне відхилення складає -3% та знаходиться в межах норми.

Загальна потужність освітлювальної установки

$$P_3 = P_l \cdot N \cdot n, \text{ Вт} \quad (4.12)$$

де P_l – потужність вибраної лампи, Вт;

$$P_3 = 40 \cdot 2 \cdot 2 = 160 \text{ Вт}$$

4.8. Електрична безпека

Застосування електрики вимагає приділяти увагу питанням електричної безпеки. Вплив струму може привести ушкодження організму електричним струмом, чи електричною дугою. Важливе значення для запобігання електричного травматизму має правильна організація обслуговування

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

електричних установок, яка встановлена “Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів” і “Правилами установки електрообладнання”. Операторська відноситься до категорії приміщень без підвищеної небезпеки.

Для запобігання електротравматизму необхідно застосовувати захисне заземлення.

4.9. Захист від шуму

Захист від шуму на робочому місці здійснюється наступними методами:

раціональне планування приміщень;

акустична обробка приміщень.

Для приглушення шумів необхідно застосовувати наступні заходи:

збільшення звукоізоляції приміщення;

ущільнення дверей;

застосування прокладок з еластичних матеріалів, звукових екранів.

4.10. Вентиляція

Однією з необхідних умов здорової і високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря у робочій зоні.

Атмосферне повітря у своєму складі містить: азоту – 78,08%; кисню – 20,95%; аргону, неону й інших інертних газів – 0,93%; вуглекислого газу – 0,03%; інших газів – 0,01%. Повітря такого складу сприятливе для дихання.

У приміщенні необхідно забезпечити оновлення повітря, кількість якого визначається техніко-економічним розрахунком і схемою вентиляції.

Важливо обмежити кількості пилу в повітрі, тому що це безпосередньо впливає на надійність і ресурс експлуатації обладнання.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

4.11. Пожежна безпека

Запобігання пожежі досягається виключенням утворення вогнебезпечного середовища біля джерел загоряння. Пожежний захист реалізується:

- застосуванням вогнестійких речовин і матеріалів;
- створенням плану для евакуації людей;
- застосування протидимового захисту;
- застосування пожежної сигналізації.

Для ліквідації пожеж застосовуються наступні засоби пожежогасіння:

- внутрішні пожежні водоводи;
- ручні вогнегасники;
- пісок;

Пожежні крани встановлюють у коридорах на висоті 1,35 м, де також знаходяться пожежний рукав з пожежним стволом. Застосовуються пінні вогнегасники ОХП–10, ОХВП–10 і ручні вуглекислотні вогнегасники ОУ–2, ОУ–5, ОУ–8. Ручні вогнегасники встановлюють у приміщенні з розрахунку один вогнегасник на 40 – 50 м² площі, але не менше двох у приміщенні.

Для гасіння електроустановок під напругою застосовують тільки вуглекислотні вогнегасники.

4.12. Статична електрика

Для запобігання утворенню статичної електрики необхідно використовувати нейтралізатори й зволожувачі, а підлоги вкривають антистатичним покриттям. Захист повинен проводитися відповідно до санітарно-гігієнічних норм напруженості електростатичного поля □ який не повинен перевищувати 20 кВ/м в продовж години.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

4.13. Дія електромагнітних променів на тіло людини

Очі – орган, має малу кількість кровоносних судин. Отже, він повинний сильніше нагріватися під дією електромагнітних променів (ЕМП), чим органи, у яких можливий інтенсивний відвід тепла за рахунок посилення кровотока.

Виявлено, що при однократному опроміненні очей мікрохвилями (від 3 до 30 Вт/м²), у результаті багаторазових опромінь (10 сеансів по 30 хвилин з інтенсивністю 150 мВт/см²) і при хронічному (кілька років) впливі мікрохвиль з інтенсивністю трохи мВт/див² в кристалику ока виникає помутніння (катаракта). Також під дією мікрохвиль виявлене зниження активності ферментів аденозинфосфатази і пиродифосфатази, а в кроликів, що опромінювалися щодня протягом 3,5 місяці мікрохвилями інтенсивністю 1 мВт/див², знижувався внутрішньооковий тиск.

4.14. Захист від електромагнітного випромінювання

Для зменшення впливу ЕМП на персонал і населення, які знаходяться у зоні дії радіоелектронних засобів, необхідний ряд захисних заходів: організаційних, інженерно-технічних, лікувально-профілактичних.

Здійснення організаційних та інженерно-технічних заходів покладено насамперед на орган санітарного нагляду. У контакті з санітарними лабораторіями підприємств і установ, які використовують джерела електромагнітного випромінювання, вони мають впроваджувати захисні заходи з гігієнічної оцінки нового будівництва та реконструкції об'єктів, які виробляють і використовують радіозасоби, а також нових технологічних процесів і обладнання з використанням ЕМП, побіжний санітарний нагляд за об'єктами, що використовують джерела випромінювання; організаційно-методичну роботу з підготовки спеціалістів і здійснення нагляду; інженерно-технічне забезпечення нагляду.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ще на стадії проектування має бути забезпечене взаємне розміщення опромінюючих і опромінюваних об'єктів, яке зводило б до мінімуму інтенсивність опромінення. Оскільки повністю виключити опромінення неможливо, необхідно зменшити ймовірність потрапляння людей у зони з високою інтенсивністю ЕМП та зменшити час перебування під опроміненням. Потужність джерел випромінювання необхідно обирати мінімальною.

Важлива роль належить інженерно-технічним методам і засобам захисту: колективному (групи будинків, району, населеного пункту), локальному (окремих будівель, приміщень) та індивідуальному.

Колективний захист спирається на поширення радіохвиль в умовах конкретного рельєфу місцевості. Економічно найбільш доцільно використовувати природні екрани місцевості: лісопосадки, насипи, нежилі будівлі. Встановивши антену на горі, можна зменшити інтенсивність поля, що опромінює населений пункт, у багато разів. Але висока антена складніша, дорожча і менш стійка. Крім того, ефективність такого способу захисту падає з відстанню.

При захисті від випромінювання з допомогою екранів має враховуватися затухання хвилі при проходженні через екран (наприклад, лісову смугу), а також явища на верхній і бокових сторонах екрана, які підвищують інтенсивність ЕМП за екраном. Для екранування можна використовувати рослинність. Спеціальні екрани у вигляді відбиваючих і радіопоглинаючих щитів через дорожнечу й малоефективність використовуються дуже рідко.

Локальний захист дуже ефективний і використовується частіше. Він оснований на використанні радіозахисних матеріалів, які забезпечують високе поглинання енергії випромінювання матеріалом та відбивання від його поверхні. Для екранування шляхом відбивання використовуються, як правило, добрі провідники - металеві листи та сітки. Захистити приміщення

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

від зовнішніх випромінювань можна обклеюванням стін металізованими шпалерами, навішуванням на вікна сіток і металізованих штор. Опромінення у такому приміщенні зводиться до мінімуму, але відбите від екранів випромінювання перерозподіляється у просторі й потрапляє на інші об'єкти.

До інженерно-технічних засобів захисту також належать:

- конструктивна можливість працювати на зниженій потужності у процесі настроювання, регулювання та профілактики;
- робота на еквівалент настроювання;
- дистанційне керування.

Для персоналу, який обслуговує радіозасоби і знаходиться від них на невеликій відстані, слід забезпечити надійний захист шляхом екранування апаратури.

Глибина проникання ВЧ та СВЧ в екран звичайно не перебільшує 1 мм, тому товщину екрана обирають з конструктивних міркувань.

Поряд з відбиваючими, широко розповсюджені екрани з матеріалів, які поглинають випромінювання. Такі екрани мають забезпечити добре узгодження з навколишнім простором, звідки падає випромінювання, тобто повинні мінімально відбивати це випромінювання.

Нині існує велика кількість радіопоглинаючих матеріалів як однорідного складу, так і композиційних, що складаються з різних за розміром і формою частинок діелектричних і магнітних речовин.

Для відтворення електричних втрат звичайно використовуються речовини на основі вуглецю, для магнітних - ферити.

Засоби індивідуального захисту використовують лише тоді, коли інші захисні заходи неможливі чи недостатньо ефективні: при проходженні через зони випромінювання підвищеної інтенсивності, при ремонтних і налагоджувальних роботах в аварійних ситуаціях, під час короткочасного контролю та зміни інтенсивності опромінення. Такі засоби незручні в експлуатації, обмежують можливість виконання трудових операцій,

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

погіршують гігієнічні умови. У радіочастотнім діапазоні засоби індивідуального захисту основані на принципі екранування людини з використанням відбиття і поглинання ЕМП.

Для захисту тіла використовується одяг з металізованих тканин і радіопоглинаючих матеріалів. Металізовану тканину зроблено з бавовняних ниток з розміщеним всередині них тонким мікропроводом або з бавовняних чи капронових ниток, спірально обвитих металевим дротом. Така тканина - наче металева сітка, і при відстані між нитками до 0,5 мм ослаблює випромінювання не менш як на 20-30 дБ. При зшиванні деталей захисного одягу треба забезпечити контакт ізольованих проводів. Тому електрогерметизацію швів здійснюють електропровідними масами чи клеями, які забезпечують гальванічний контакт або збільшують ємнісний зв'язок не контактуючих проводів.

Очі захищають спеціальними окулярами зі скла з нанесеною на внутрішній бік провідною плівкою двоокису олова. Гумова оправа окулярів має запресовану металеву сітку чи обклеєна металізованою тканиною. Завдяки цим окулярам випромінювання СВЧ ослаблюється на 20-30 дБ.

Раніше використовувались рукавички та бахіли. Зараз їх вважають непотрібними, оскільки допустима величина щільності потоку енергії для рук і ніг - у багато разів вища, ніж для тіла.

Колективні та індивідуальні засоби захисту можуть забезпечити тривалу безпечну роботу персоналу на радіоб'єктах.

					171.6321М.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті проаналізовано сучасні технології та тенденції щодо заряджання суден на електроживленні, включаючи архітектуру енергетичних систем, інфраструктуру зарядки та системи управління для управління зарядами. Оскільки флот електрифікованих суден швидко зростає, забезпечення екологічно чистої енергії для морських перевезень із стійких джерел є важливою темою для досліджень та розробок у суднобудуванні та наукових колах. Берегова зарядка - чудова можливість використовувати наземну мережу від джерел відновлюваної енергії, для живлення рушіїв морських суден, хоча складно заряджати бортові батареї протягом обмеженого часу від слабкої мережі, доступної у віддалених районах.

Пояснено три методи заряджання від берегової станції: зарядка за допомогою дроту, бездротова зарядка та метод заміни батареї. У дротовому рішенні є штекер і розетка, яка може бути пантографом або телескопічною рукою тощо, для підключення до порому для заряджання бортових батарей. Залежно від того, чи надається берегова потужність змінного або постійного струму, цілі розташування та управління перетворювачами потужності, включеними в шлях зарядки, різняться. У безконтактному з'єднанні берег-корабель електрична енергія передається через магнітне поле двома котушками - котушкою передавача на суші та котушкою приймача на борту. В останньому способі, методі заміни батареї, розряджені батареї обмінюються з повністю зарядженими батареями в порту.

Стратегії управління, що використовуються для процесу перезарядки акумулятора, можуть зіграти значну роль у підвищенні енергоефективності та підтримці локальної мережі. У зв'язку з цим, схема управління високого та низького рівня для системи зарядки

постійного струму обговорювався в останньому розділі. Спираючись на поточні та майбутні тенденції, що включають зарядку на березі та

					171.6321М.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		93

специфікацію судна, правильний вибір архітектури енергосистеми для зарядної системи та стратегії управління відіграє важливу роль для підвищення ефективності та зниження вартості системи. Представлені результати дослідження, спрямованого на розробку технології потужної індуктивної зарядки для поромів. Було пояснено, як кораблі з гібридними або повністю акумуляторними руховими установками можуть значно виграти від автоматизованої роботи.

Однак застосування на поромах пред'являє безпрецедентні вимоги до потужності і гнучкості щодо динамічних переміщень приймальної котушки під час зарядки в порівнянні з встановленими пристроями для стаціонарної зарядки автомобілів або поїздів.

Інваріантність ІЗС до значних позиційних переміщень і відповідних змін коефіцієнта зв'язку може бути досягнута двома способами: 1) механічне позиціонування для фіксації взаємного положення обох котушок індуктивного зв'язку; 2) деяка припустима варіація коефіцієнта зв'язку має бути компенсована системою керування силового інверторного перетворювача. Система має контролювати зміну умов зв'язку і автоматично компенсувати їх негативний вплив на ефективність ІЗС. Недоліками першого шляху є складність, недостатня надійність і значна вартість. Другий шлях вимагає попереднього теоретичного дослідження умов забезпечення високих енергетичних показників ІЗС разом і стабільності зарядного струму при зміні коефіцієнта зв'язку за рахунок керування вихідною частотою і напругою інвертора на рівнях потужності, що перевищують 1 МВт.

					171.6321М.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) G. Guidi, J. A. Suul, "Minimization of Converter Ratings for MW-scale Inductive Charger Operated under Widely Variable Coupling Conditions," in Proc. of the IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power, 2015 WoW, Daejeon, Korea, 5-6 June 2015, pp. 23-32
- 2) S. Li, C. C. Mi, "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 3, No. 1, pp. 4-17, Mar. 2015
- 3) C. Zheng, H. Ma, J.-S. Lai, L. Zhang, "Design Considerations to Reduce Gap Variation and Misalignment Effects for the Inductive Power Transfer System," IEEE Trans. on Power Electron., Vol. 30, No. 11, pp. 6108-6119, Nov. 2015
- 4) C. Zheng, J.-S. Lai, R. Chen, W. E. Faraci, Z. U. Zahid, B. Gu, L. Zhang, G. Lisi, D. Anderson, "High-Efficiency Contactless Power Transfer System for Electric Vehicle Battery Charging Application," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 3, No. 1, pp. 65-74, Mar. 2015
- 5) www.wartsila.com WÄRTSILÄ® is a registered trademark. Copyright © 2018 Wärtsilä Corporation. Specifications are subject to change without prior notice. Wärtsilä Marine Solutions | Wireless Charging
- 6) N. Ghimire, D. Park, M. K. Zadeh, J. Thorstensen, and E. Pedersen, "Shipboard electric power conversion: System architecture, applications, control, and challenges," IEEE Electrific. Mag., vol. 7, no. 4, pp. 6–20, Dec. 2019. doi: 10.1109/MELE.2019.2943948.
- 7) G. Guidi, J. A. Suul, F. Jensen, and I. Sørensen, "Wireless charging for ships: High-power inductive charging for battery electric and plug-in hybrid vessels," IEEE Electrific. Mag., vol. 5, no. 3, pp. 22–32, 2017. doi: 10.1109/MELE.2017.2718829.

					171.6321М.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

8) R. Bosshard and J. W. Kolar, "Inductive power transfer for electric vehicle charging: Technical challenges and tradeoffs," IEEE Power Electron. Mag., vol. 3, no. 3, pp. 22–30, Sept. 2016. doi: 10.1109/MPEL.2016.2583839.

9) "Wireless charging," Wartsila, Helsinki, Finland. Accessed on: Jan. 27, 2020. [Online]. Available: <https://www.wartsila.com/marine/build/power-systems/shore-connections/wireless-charging>

10) "FerryCHARGER for electric ferries," Stemmann-Technik, Schüttorf, Germany. Accessed on: Jan. 27, 2020. [Online]. Available: http://www.stemmann.com/en/products/charging_systems/ferrycharger

11) "E-CHARGING," Cavotec, Lugano, Switzerland. Accessed on: Jan. 27, 2020. [Online]. Available: <http://www.cavotec.com/en/your-applications/ports-maritime/e-charging>

12) M. S. Eide, "Charting a course for green coastal shipping," DNV GL, Oslo, Norway, 2016. doi: 10.13140/RG.2.2.32516.94088.

13) "Analysis of charging- and shore power infrastructure in Norwegian ports: ReCharge," DNV GL, Oslo, Norway. Accessed on: Jan. 27, 2020. [Online]. Available: https://www.nek.no/wp-content/uploads/2019/03/DNV-GL-2017-0101_ReCharge.pdf

14) T. W. P. Smith et al., Third IMO GHG Study 2014. London: International Maritime Organization (IMO), 2014.

15) G. A. Covic, J. T. Boys, "Inductive Power Transfer," Proc. of the IEEE, Vol. 101, No. 6, pp. 1276-1289, Jun. 2013

16) G. A. Covic, J. T. Boys, "Modern Trends in Inductive Power Transfer for Transport Applications," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 1, No. 1, pp. 28-41, Mar. 2013,

17) C. Fernández. O. García, R. Prieto, J. A. Cobos, J. Uceda, "Overview of different alternatives for the contact-less transmission of energy," in Proc. of the 2002 28th Ann. Conf. of the IEEE Ind. Electron. Soc., IECON 2002, Sevilla, Spain, 5-8 Nov. 2002, pp. 13118-1323

					171.6321М.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

18) S. Li, C. C. Mi, "Wireless Power Transfer for Electric Vehicle Applications," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, Vol. 3, No. 1, pp. 4-17, Mar. 2015

19) G. Maggetto. P. Van den Bossche, "Inductive Automatic Charging: The Way to Safe, Efficient and User-Friendly Electric Vehicle Infrastructure, in Proc. of the 18 th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition, EVS-18, Berlin, Germany, 20-24 Oct. 2001, 12 pp.

20) A. Brecher, D. Arthur, "Review and Evaluation of Wireless Power Transfer (WPT) for Electric Transit Applications," U.S. Department of Transportation, Federal Transit Administration (FTA), FTA Report No. 0060, August 20

					171.6321М.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		